

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Eliminace deformací feritových jader při sintrovacím procesu

Elimination of ferrite core deformations
during the sintering process

Student:

Martin Wnenk

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.

Ostrava 2019

Zadání bakalářské práce

Student:

Martin Wnenk

Studijní program:

B2341 Strojínství

Studijní obor:

2303R002 Strojářská technologie

Téma:

Eliminace deformací feritových jader při sinterovacím procesu
Elimination of Ferrite Core Deformations During the Sintering Process

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Procesní analýza výroby feritových jader
2. Identifikace klíčových faktorů vad výrobků
3. Návrh opatření k eliminaci výrobních vad
4. Technické a ekonomické hodnocení návrhů

Seznam doporučené odborné literatury:


CHANG, L.; ZHAO, Y. *Advances in powder metallurgy: properties, processing and applications*. 1st pnh. Cambridge: Woodhead Publishing, 2013. ISBN 978-0-85709-420-9.
SKOTNICOVÁ, K.; KURSÁ, M. *Průřeková metalurgie: studijní opara*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3598-9.
JECH, J. *Teplotní zpracování ocelí: Metalografická příručka*. 4. vyd. Praha 1: SNIL, 1993.
PTÁČEK, L. *Nauka o materiálu*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERAM, 2002. 392 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví podmínky pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Jiří Hrubý, C.Sc.**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019


Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Ivo Hlaváč, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou*) práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- buď-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská*) práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. května 2019.



Podpis autora práce

Mistopřísečné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20. května 2019.



Podpis studenta

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Wnenk, M. *Eliminace deformací feritových jader při sintrovacím procesu*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2019. Vedoucí práce: Hrubý J.

Bakalářská práce se zabývá problematikou deformací feritových jader při sintrovacím procesu. Teoretická část je zaměřena na popis jednotlivých kroků výroby. Každý z těchto kroků může mít vliv na výslednou deformaci. Popis fyzikálních procesů, které mohou mít negativní vliv na výslednou kvalitu výrobku, jsou popsány v každém kroku.

Praktická část bakalářské práce je věnována analýze možných kořenových příčin deformací určených typů jader pomocí nástroje DOE design of experiment. Analýzy naměřených dat a jejich vyhodnocení, jsou vypracovány pomocí programu Minitab.

ANNOTATION OF BACHELAR THESIS

Wnenk, M. *Elimination of ferrites core deformations during the sintering process*: VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology. Thesis head: Hrubý, J.

The bachelor thesis deals with the problem of deformation of ferrite cores during the sintering process. The theoretical part is focused on description of individual steps of production. Each of these steps can affect the resulting deformation. A description of the physical processes that can have a negative effect on the final product quality is described in each step.

The practical part of the thesis is devoted to the analysis of possible root causes of deformation of specified types of nuclei using the tool DOE design of experiment. Analyses of measured data and their evaluation are done using Minitab.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů.....	8
Úvod	9
Představení společnosti TDK Electronics	10
Historie.....	10
Výrobní program	10
Výroba feritů	11
Výroba pozistorů.....	11
1 Měkké ferity.....	12
1.2 Výroba feritových jader	14
1.3 Materiál a procesy výroby feritů	15
1.2.1 Suroviny	15
1.2.2 Míchání surovin	15
1.2.3 Kalcinace.....	15
1.2.4 Mletí.....	16
1.2.5 Sušení rozprašováním	16
1.2.6 Lisování.....	17
1.2.3 Geometrie, tvar jádra.....	20
1.2.3 Slinování (sintrace)	21
1.2.4 Dokončení	23
1.2.5 Konečná kontrola	24
2 Hledání kořenových příčin pomocí nástroje DOE design of experiment.....	25
2.1 DOE design of experiment – plánování experimentů	25
2.1.1 Cíle DOE.....	25
2.3 Výběr problémových jader.....	26
2.4 Popis problému.....	26
2.5 Sestavení týmu odborníků	27
2.6 Rybí kost - Ishikawa	27
2.6.1 Bodování faktorů.....	28
2.7 Návrh testů.....	28
2.8 Měření a kvantifikace testů	28
2.9 Vyhodnocení testů	29
2.9.1 Histogram (srovnání vybraných hodnot).....	30
2.9.2 Histogram, grafický souhrn.....	31
2.9.3 Lineární regrese.....	32
3 Testy	34

3.1 Test č. 1 - výpal jader typ RM14 s broušenou podložkou na zirkonu sypaném a tekutém.....	34
3.1.1 Histogram (srovnání)	35
3.1.2 Grafický souhrn.....	36
3.2 Test č. 2 - výpal jader typ RM14 s broušenou podložkou na zirkonu sypaném a tekutém dvě vrstvy, horní a dolní.	38
3.2.1 Histogram (srovnání)	38
3.2.2 Grafický souhrn.....	39
3.2.3 Histogram (srovnání)	40
3.2.4 Grafický souhrn.....	41
3.2.5 Lineární regrese.....	42
3.3 Test č. 3 – poloha jader RM8 v peci, horní poloha a spodní poloha. Lodička s jednou vrstvou jader a se dvěma vrstvami jader. Umístění jádra na kraji, na středu lodičky.	44
3.3.1 Histogram (srovnání)	45
4 Návrh opatření k eliminaci deformací	47
5 Závěr	48
5 Seznam použité literatury	50
6 Seznam obrázků	51
7 Seznam příloh.....	52
Příloha A – korelace plocha B	52
Příloha B – korelace plocha B versus plocha A	52
Příloha C – korelace plocha A	53
Příloha D – korelace plocha A versus plocha C.....	53
Příloha E – DICHTE protokol.....	54
Příloha F – protokol měření	55

Seznam použitých značek a symbolů

$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	oxid železitý (hematit)
$(\text{FeMn})_2\text{O}_3$	oxid manganito-železitý (bixbyit)
HIP	žárové izostatické lisování / lisování za tepla
HCP	hexagonální nejtěsněji uspořádaná struktura
FCC	kubicky prostorově centrovaná struktura
x	jednotlivé hodnoty proměnné
n	rozsah výběrového souboru (počet hodnot proměnné)
s	směrodatná odchylka
s^2	výběrová směrodatná odchylka
A_S	vzorek A, S-podsyp
B_S	vzorek B, S-podsyp
C_S	vzorek C, S-podsyp
A_L	vzorek A, L-polep
B_L	vzorek B, L-polep
C_L	vzorek C, L-polep
K_S	vzorek K-krajní, S-spodní
K_H	vzorek K-krajní, H-horní
S_S	vzorek S-střed, S-spodní
S_H	vzorek S-střední, H-horní
KV_H	vzorek K-krajní, V-vrchní, H-horní (poloha lodičky v peci)
SV_H	vzorek S-střední, V-vrchní, H-horní (poloha lodičky v peci)
KV_S	vzorek K-krajní, V-vrchní, S-spodní (poloha lodičky v peci)
SV_S	vzorek S-střední, V-vrchní, S-spodní (poloha lodičky v peci)

Úvod

Kvalita výroby a její opakovatelnost jsou v dnešní době klíčem úspěchu každé firmy. Nejen z hlediska zisků, ale také z hlediska kvality, a kontroly jednotlivých procesů. Některé technologické procesy jsou velmi složité a málo probádané, proto je odstranění nebo eliminace vad někdy velmi složité a zdlouhavé. Výroba feritových jader je toho živým důkazem.

Výroba feritových jader je založena na technologii práškové metalurgie. Díky této technologii je možné vyrábět produkty složitých tvarů, přizpůsobovat tvary na základě požadavků zákazníka. Výhodou je příprava granulátu ve firmě, to umožňuje měnit feromagnetické hodnoty produktu, změnami poměru chemického složení prášku a mnoho dalších výhod spojených s výrobou granulátu. Jeden z klíčových procesů výroby feritových jader je proces sintrace. Sintrace (slinování) může probíhat v průběžných, nebo komorových pecích, které se ještě dělí na stacionární a rotační. Při tomto procesu dochází ke slinování materiálu, které zásadně ovlivňuje feromagnetické chování jádra. Vedlejším jevem při sintraci je smrštění materiálu, které může vést k deformacím tvaru. Na deformace může mít vliv mnoho faktorů. Typ materiálu, složení materiálu, technologie lisování, taktéž rozložení hustoty ve výrobku. V neposlední řadě mohou mít na deformaci vliv faktory, jako je pomocný materiál, manipulace a další podpůrné procesy ve výrobě. Už při vývoji tvaru a velikosti jádra je nutné dopředu počítat se smrštěním a předpokládaným deformacím. Tyto deformace výrazně ovlivňují výtěžnost výroby. Čím větší jsou deformace, tím větší jsou náklady na jejich odstranění, například procesem broušení, tudíž se výroba prodražuje. Pokud jsou však deformace mimo stanovené limity, tak se jedná o takzvané zmetky.

Sintrační proces je přesně stanoven teplotní křivkou a časem trvání. Jedná se o proměnnou teplotu závislou na čase trvání slinování. Tento proces je limitován, výsledky feromagnetického chování produktu jsou přímo úměrně závislé na výpale, tudíž není mnoho možností, jak omezit vliv teploty na deformaci produktu. Dalším aspektem, který může mít vliv na deformace, je uložení jader během výpalu v peci.

Představení společnosti TDK Electronics

Historie

Historie společnosti sahá do roku 1989, kdy vznikl společný podnik Siemens a Matsushita Components A.G. se sídlem v Mnichově. Tato společnost se v roce 1999 přejmenovala na EPCOS A.G. V téže roce provedla akvizici části výroby společnosti Pramet a.s., Šumperk a vytvořila dceřinou společnost EPCOS s.r.o. s cílem vytvořit v Šumperku evropské centrum pro výrobu feritů z magnetických měkkých materiálů. V roce 2000 byla na zelené louce dokončena výstavba nových výrobních hal určených pro převzetí výrobních technologií a zahájena výroba širokého sortimentu feritů a dalších elektronických součástek. V roce 2009 se mateřská společnost šumperského výrobního závodu EPCOS A.G. Mnichov sloučila s částí společnosti TDK, která se zabývá výrobou stejného typu výrobků. Naše firma TDK Electronics s.r.o. je součástí tohoto nadnárodního koncernu. ¹

Výrobní program

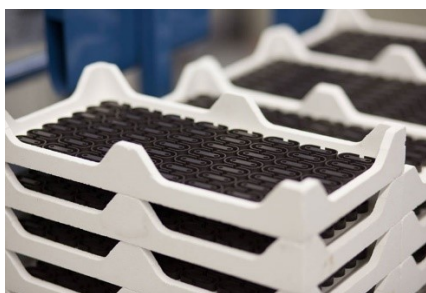
Vyrábíme elektronické součástky a komponenty, které se nacházejí téměř ve všech elektrických a elektronických zařízeních kolem nás. Mají zásadní význam pro zajištění spolehlivého napájení, zpracování elektrických signálů a chrání obvody před selháním a poruchou.

Společnost je držitelem certifikátů EN ISO 14001:1996 a ISO/TS 16942:2002, které jsou nezbytné pro uskutečňování dodávek pro automobilový průmysl. Prioritou společnosti je uspokojování očekávání, přání a požadavků zákazníků vysokou kvalitou svých výrobků a služeb.

Šumperský závod vyrábí feritová jádra a keramické pozistory. ¹

Výroba feritů

Divize MAG (Magnetics Business Group) vyrábí feritová jádra a její vedení sídlí v německém Heidenheimu. Feritová jádra se využívají jako součástky zdrojů elektrického napětí (transformátory), výkonových měničů pro solární, lékařskou a dopravní techniku, v telekomunikačním průmyslu, v přístrojích a zařízeních k měření spotřeby elektrického proudu, také k bezdrátovému přenosu energie.¹



Obrázek 1 – feritová jádra před výpalem¹

Výroba pozistorů

Divize PPD (Piezo and Protection Devices Business Group) se zabývá výrobou keramických pozistorů a má sídlo v rakouském Deutschlandsbergu. Keramické pozistory nacházejí uplatnění jako vyhřívače sedaček automobilů, teplotní senzory, senzory hladiny kapaliny, přepěťová ochrana, v parkovacích senzorech a nově i v elektroautomobilech.¹



Obrázek 2 – Piezo senzor¹

1 Měkké ferity

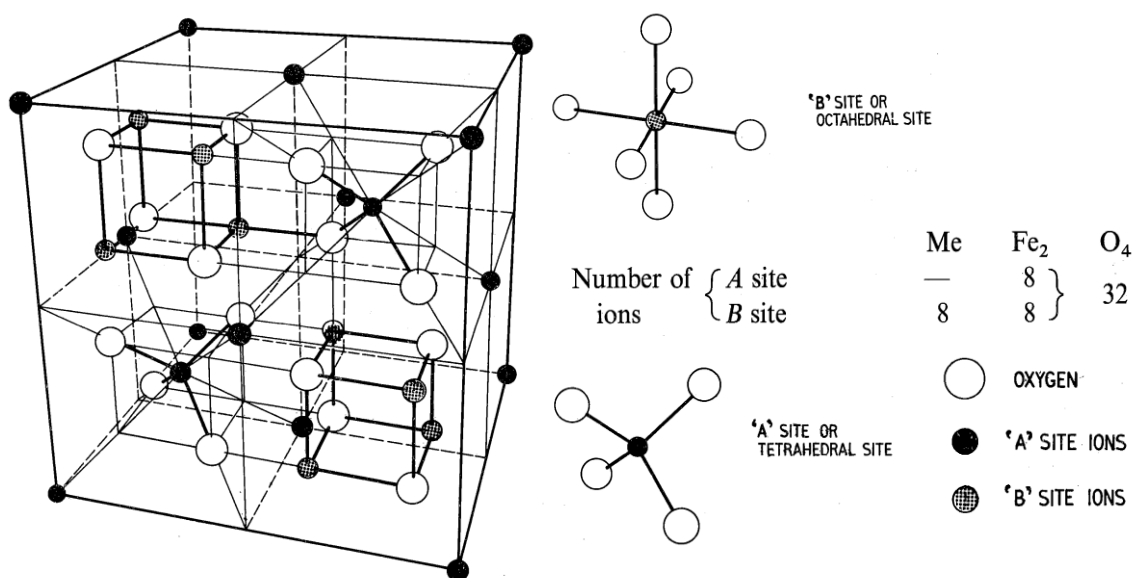
Ferity jsou keramické materiály, tmavě šedé nebo černé a velmi tvrdé a křehké. Magnetické vlastnosti vznikají z interakcí mezi kovovými ionty zabírajícími konkrétní polohy vzhledem k iontům kyslíku v krystalové mřížce oxidu. V magnetitu, v prvních syntetických feritech a ve většině současných magneticky měkkých feritů je krystalická mřížka krychlová; má formu minerálního spinelu viz obr. 8. Obecný vzorec spinelového feritu je $MeFe_2O_4$, kde Me obvykle představuje jeden nebo, ve směsných feritech, více než jeden z dvojmocných přechodných kovů Mn , Fe , Co , Ni , Cu a Zn , nebo Mg a Cd . Jsou možné i jiné kombinace ekvivalentní valence a je možné nahradit některé nebo všechny trojmocné ionty železa jinými ionty trojmocného kovu.²

U prvních feritů byl obsah prvků $Cu + Zn$, $Mn + Zn$, nebo $Ni + Zn$. První z těchto sloučenin byl brzy opuštěn a další dva, označované jako ferit manganu a ferit niklu (často zkráceně na $MnZn$ ferit a ferit $NiZn$), byly vyvinuty pro široké spektrum aplikací, kde propustnost a nízké ztráty byly hlavními požadavky.⁷ Tyto dvě sloučeniny jsou stále nejdůležitějšími prvky feritů pro vysokou propustnost, nízkotlakové aplikace představují převážnou většinu současné výroby feritů. Změnou poměru Zn na Mn nebo Ni , nebo jinými prostředky, mohou být oba typy feritu vyrobeny v různých stupních, přičemž každá třída má své vlastnosti, které jsou vhodné pro konkrétní třídu použití. Rozsah dostupných permeabilit, se pohybuje od asi 15 pro ferit niklu do několika tisíc pro některé druhy mangan zinku.²

Aplikace začaly v oblasti telekomunikace, kde kombinace dobrých magnetických vlastností a vysoké odolnosti měnila tyto materiály jako jádra pro induktory a transformátory. Vzhledem k tomu, že odpory byly alespoň milionkrát větší než hodnoty pro kovové magnetické materiály, mohou být laminovaná nebo prášková jádra nahrazena pevnými feritovými jádry, která mohou být často vyráběna ve výhodnějším tvaru než jejich laminované protějšky.²

Aplikace byla rozšířena na domácí televizní přijímače, kde se staly a stále zůstávají nedotčeným jádrovým materiálem pro linkový transformátor časové základny a magnetickým třmenem používaným ve vychylovacím systému. U domácích rádiových přijímačů se používají tyče nebo desky feritů jako jádra pro magnetické antény. Bylo nalezeno mnoho jiných aplikací s vysokou permeabilitou a nízkou ztrátou.^{8,9} Mezitím byly objeveny ferity s tvrdými magnetickými vlastnostmi. Mají hexagonální krystalovou mřížku a typický chemický vzorec je $BaFe_{12}O_{19}$. Jsou charakterizovány velmi

velkými koercivitami, např. větší než $160 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-1}$ (2000 Oe). Protože tyto ferity byly zaváděny v době, kdy byly důležitější složky kovových permanentních magnetů, např. Co a Ni, byly vzácné, že našli připravenou aplikaci. Krystalové osy mohou být během výroby orientovány tak, že jsou indukovány anizotropní vlastnosti a mohou být skladovány větší magnetické energie. V obou izotropních i anizotropních formách se tyto ferity používají pro široký rozsah aplikací permanentních magnetů, např. hlasité magnety reproduktorů, magnetická sklíčka, malé elektromotory a zaostřovací magnety. Byly vyvinuty další hexagonální ferity^{12,13}, které mají užitečné měkké magnetické vlastnosti, které jsou udržovány až do frekvencí blížících se 1000 MHz.²



Obrázek 3 – krystalická (kubická) mřížka²

Jiná třída pro použití vznikla, když bylo zjištěno, že je možné připravit spinelové ferity, jako je *Mn Mg*, *Mn Cu* a *Li Ni* ferit, mající v podstatě pravoúhlé smyčky. Hlavní použití těchto materiálů je pro paměťová jádra. Jedná se o velmi malé toroidy, které jsou používány ve velkém počtu jako prvky v datových úložištích s rychlým přístupem. Funkce ukládání závisí na dvou odlišných stavech remanence, které tyto materiály mají, a na snadnosti, kterou mohou být vybrány a přepnuty z jednoho stavu do druhého. Obdélníkové smyčkové ferity jsou také aplikovány v zařízeních, jako jsou spínací jádra, používaná pro posílání pulzů energie do vybraných obvodů paměťových jader a vícejadrových jader, používaných pro provádění různých logických funkcí.²

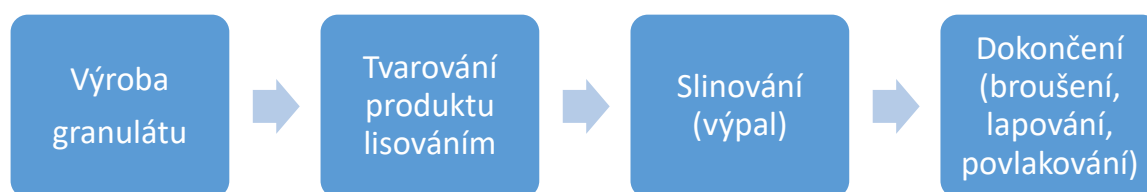
1.2 Výroba feritových jader

Cílem společným pro všechny ferity je tvorba spinelové struktury. Výchozí materiály jsou obvykle oxidy nebo prekursor oxidů kationtů. Tento způsob zahrnuje interdifuzi různých kovových iontů předem zvolené kompozice za vzniku směsného systému. Nekonenční zpracování prášku v kapalném médiu může produkovat meziprodukty, jemně rozmělněné směsné hydroxidy nebo smíšené organické soli, které napomáhají následnému difúznímu procesu.²

Tvorba feritu může být prováděna při teplotě 100 ° C nebo nižší, protože při těchto teplotách vzniká metoda digesce, vytváří jemné feritové prášky, přičemž klasickým příkladem této techniky je příprava magnetitu nebo železného feritu přímou koprecipitací a zahříváním vodné suspenze smíšených hydroxidů $\{Fe(OH)_2 + Fe(OH)_3\}$. S výjimkou záznamových médií, kopírovacích prášků nebo ferrofluidů nejsou feritové prášky obvykle hotovými výrobky. Tyto požadavky mohou být splněny pečlivým řízením dvou kroků zpracování:

1. Příprava prášku
2. Slinování

Tyto kroky jsou poměrně úzce propojeny. Vlastnosti prášku silně ovlivní kvalitu produktu po slinování. Jakékoliv zbývající nedostatky v prášku mohou být korigovány prodlouženými časy nebo vyššími teplotami v kroku slinování, ale obvykle za cenu zhoršení jiných vlastností. Optimální kombinace je proto koordinovaným procesem, při kterém se výroba prášku a slinování vzájemně zvyšuje.³



Obrázek 4 – průběhové schéma výroby feritových jader

1.3 Materiál a procesy výroby feritů

1.2.1 Suroviny

Suroviny jsou obvykle oxidy nebo uhličitany složek kovů. Chemická analýza, velikost částic a cena jsou důležitými vlastnostmi těchto výchozích materiálů. Vzhledem k tomu, že menší složky nebo nečistoty mohou mít velký vliv na vlastnosti hotového feritu, je normální analyzovat vstupující materiály ve snaze zajistit, aby se kompozice podstatně nelišila od dávky k dávce. Velikost částic výchozího materiálu má hluboký vliv na chování výrobku během výroby. Snadnost míchání, stlačitelnost, smrštění a reaktivita závisí na velikosti částic, takže je normální udržovat kontrolu tohoto parametru, aby byla zajištěna jednotnost mezi šaržemi.²

Materiály přiměřené čistoty a stejnoměrnosti jsou obvykle neúnosně drahé a úspěšná výroba ve velkém měřítku závisí na dovednostech, za kterých mohou být cenově dostupné materiály použity k výrobě konzistentních feritů s požadovanými magnetickými vlastnostmi.²

1.2.2 Míchání surovin

Hlavním účelem tohoto procesu je kombinovat vstupní materiály do důkladně homogenní směsi. Pokud mají být následně vytvořeny krystality stejnoměrného složení a vlastností, pak složky musí být přítomny ve správném poměru v jakémkoliv mikroskopickém objemu sypkého materiálu. Je obtížné vyhnout se smíchání, to znamená, že jedna nebo více složek se v určitých oblastech hmoty stává poněkud koncentrovanějším díky velikosti částic nebo hustotě. To může být způsobeno mícháním, buď během míchání nebo transportu, nebo v mokřém procesu, v důsledku sedimentace nebo selektivní filtrace.²

1.2.3 Kalcinace

Při teplotě (900 - 1100 ° C pro ferity; 1200 ° C). Obecně bude teplota kalcinace asi 100 až 300°C pod finální teplotou vypalování. Účelem kalcinace (pokud se používá) je zahájit proces tvorby feritové mřížky. Tento proces je v podstatě jedním z interdifúzí oxidů substituentů do chemicky a krystalograficky jednotné struktury. Hnací silou interdifúze je gradient koncentrace. Jak jednotlivé oxidy interdiffuse, nějaký ferit je vytvořen na rozhraní. Tato dokončená fáze redukuje další difuzi, protože koncentrační gradient již není schopen působit jako hnací síla. Materiál ve středu každého z oxidových částic má problémy s difúzí přes ferit, protože difúzní vzdálenosti se zvětšují. Pokud se materiál rozbije a vystaví se

vnitřek částic, znovu se vytvoří hnací síla pro difúzi. Jelikož při kalcinaci dochází k určitému smrštění, jednou výhodou kalcinace je snížení smrštění v konečném slinování. To umožňuje lepší kontrolu konečného rozměru v případech, kdy je tato kontrola nutná. Kromě toho kalcinace pomáhá homogenizovat materiál, což je samozřejmě výhodné.³

V některých případech prvotřídních materiálů, používané pro mikrovlnné trouby nebo feritové díly nahrávacích hlav, se používá dvojité kalcinování s mezilehlými mlýny.³

1.2.4 Mletí

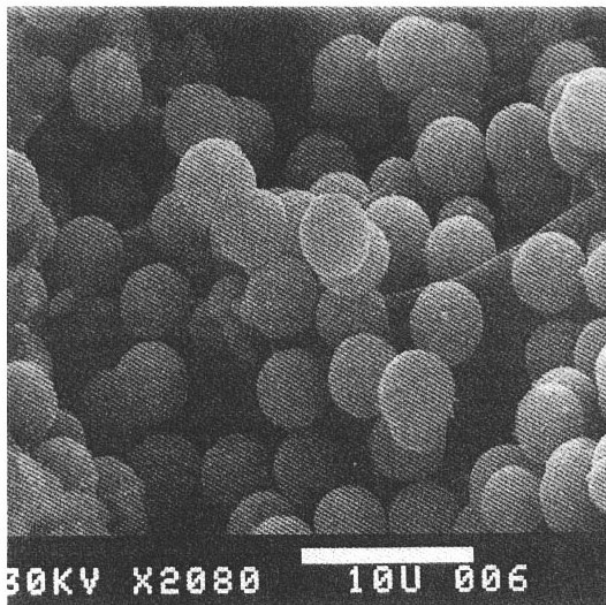
Po kalcinování musí být materiál, který byl hrubozrnný, rozdrčen pomocí kulových mlýnů. Doba mletí bude určovat distribuci velikosti částic, která zase ovlivní homogenitu výlisku vstupujícího do finálního vypalování, jakož i mikrostrukturu po procesu slinování. Optimální velikost částic je obvykle řádově 1 mikron nebo menší. Pro pevné broušení a následné zpracování je kritické procento pevných látek při mletí. Je-li obsah pevných látek příliš vysoký, jak probíhá mletí, velikost částic se sníží a suspenze se stane velmi viskózní, což redukuje zařízení pro mletí a zpracování suspenze. Pokud je však obsah pevných látek příliš nízký, bude následná operace sušení rozprašováním vytvářet velmi jemný prášek sušený rozprašováním, který není žádoucí. Pro udržení vysokého obsahu pevných látek a zabránění problému s viskozitou se přidávají deflokulanty, jako je arabská guma. Provozně je viskozita suspenze často měřena viskozimetrem lopatkového typu, aby se monitorovaly kombinované účinky stupně mletí, obsahu pevných látek a procenta pojiva.³

1.2.5 Sušení rozprašováním

Prášek s pojivem a mazivem se formuje do suspenze s vysokým obsahem pevných látek. Alternativně může být pojivo a mazivo přidáno během mletí a použito přímo při mletí suspenze. Suspenze se nastříká do komory, kde se rozprašuje jako částice s vysokou rychlostí v přítomnosti proudů horkého vzduchu. Uspořádání je takové, že kapičky před opadem do sběrné zóny jako suché granule opisují dráhu dlouhé trajektorie.²

Optimální velikost granulí je dána především matricí, ve které má být díl lisován. Pokud jsou granule příliš malé nebo obsahují příliš mnoho jemných částic, prášek se bude pohybovat mezi kluznými plochami nástroje a způsobit nadměrné opotřebení a tření. Pokud jsou příliš velké, nemusí adekvátně zaplnit konce zápusťky. Rovnoměrnost velikosti je

důležitá pro dobrý tok granulí a pro zajištění husté kompaktnosti se granule musí snadno rozpadnout pod tlakem v matrici.²



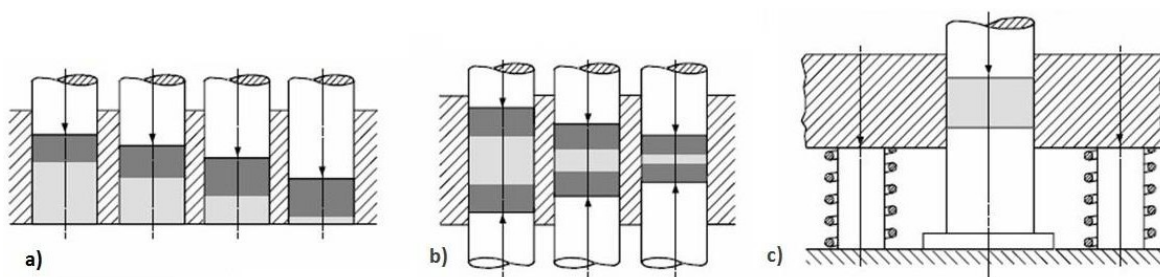
Obrázek 5 – elektronová mikroskopie vzorku feritového granulátu.³

1.2.6 Lisování

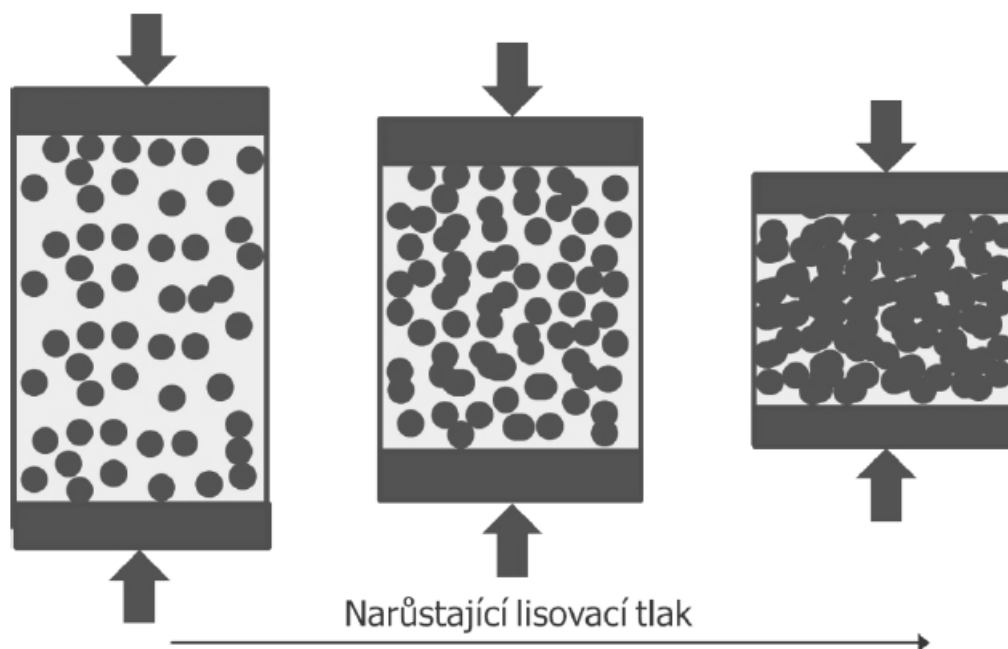
Tvarováním za studena se rozumí všechny metody, kterými lze získat výlisky žádaného geometrického tvaru o takových rozměrech, aby po slinutí měly konečné rozměry a takovou soudržnost („zelenou“ pevnost – z angl. green strength), aby s nimi bylo možné manipulovat (např. vyjmutí z lisovacího nástroje, uložení ve slinovací peci apod.). Nezbytné „zelené“ pevnosti se dosáhne zhutněním, tj. zmenšením pórovitosti a zvýšením adheze mezi jednotlivými částicemi. Nejčastěji se k tomuto účelu používá lisování.⁴

Při sypání prášku se uspořádávají částice působením gravitačních sil. Sypané prášky tak obsahují mosty a dutiny, které se dají redukovat střásáním a vibrací.⁴

Při použití břečky se dosáhne těsnějšího uspořádání v důsledku snížení tření mezi částicemi. Po vysušení „litych“ tvarových výlisků s nimi lze dále volně manipulovat. Při lisování v nástrojích, které v průmyslovém měřítku převládá, je tvarové těleso vystaveno komplikovanému mechanickému zatížení. Působící tlak vede ke zhutnění prášku. Rozdělení tlaku však není ve výlisku rovnoměrné, což je dáno tím, že část přivedené energie se spotřebovává na překonání tření mezi částicemi a stěnami formy a samotnými částicemi.⁴



Obrázek 6 – způsoby lisování v matricích: a) jednosměrné lisování; b) obousměrné lisování; c) lisování s plovoucí matricí. ⁴



Obrázek 7 – Pochody, probíhající ve výlisku s rostoucím tlakem. ⁴

Při lisování v matricích jsou poměry silně ovlivněny třením na stěnách matrice, což způsobuje nerovnoměrné rozdělení hustoty materiálu ve výlisku. Při jednostranném lisování je nejvyšší lisovací tlak na okrajích lisovacího nástroje, nejnižší pak na spodním okraji výlisku. Při oboustranném lisování, tzn. při pohyblivém horním a dolním razníku, lze lisovat výlisky o dvojnásobné výšce. Rozdělení tlaku je lepší než u jednostranného lisování, ale je rovněž ovlivněno třením na stěnách lisovací formy. ⁴

Nehomogenní rozložení tlaku ve vertikálním i horizontálním směru způsobuje, že se výlisk při vytlačování z matrice rozpadá na horizontální vrstvy "talířového" typu. Podle některých autorů vznikají při lisování ve výlisku parabolické plochy, které neobsahují tangenciální složku napětí. Na těchto plochách nedochází ke smykovému pohybu částic, a tím ani ke vzniku svarových spojů za studena. ⁴

Většina feritových prášků se lisuje. Lisy pro lisování feritů mohou být hydraulické nebo mechanické. Pro jednoduché tvary, jako jsou toroidy nebo jádra E, lze použít lisy s

jednostupňovými spodními razníky. Pro komplikované tvary, jako jsou jádra, se používají lisovací seky sekundárními spodními razníky.³

Lisování vytváří kompaktní materiály, které mohou mít gradienty hustoty způsobené třením prášku podél stěny. Pro snížení tohoto problému mohou být použity externí maziva jako zinečnatý stearát. Při navrhování rozměrů matrice je třeba vzít v úvahu charakteristiky smrštění prášku, který má být lisován, včetně obsahu pojiva, velikosti částic, hustoty lisování a stupně kalcinace.³

Důležité jsou také podmínky konečného výpalu. Všechny tyto faktory pomáhají určit konečné rozměry dílu. Je zřejmé, že pro výrobu dílů s nízkými tolerancemi rozměrů jsou kritické úvahy o smrštění. Výše zmíněný gradient hustoty může vést k rozdílnému smrštění nebo deformaci součástí. Smrštění se může pohybovat od 10 do 20% v lineárním měřítku. Smršťování matrice je nakonec určeno po optimalizaci zpracování pro požadované vlastnosti a zaznamenání smrštění, ke kterému dochází za těchto podmínek. Inazuka (1992) použila kondicionéry nízkoteplotního skla na bázi *Pb* k dosažení extrémně nízkých (> 1,5%) feritů *NiZnCu* pro transformátory.³

V některých zvláštních případech může být feritový prášek izostaticky lisován, buď za studena, nebo za tepla. Izostatické lisování vytváří kompaktní materiály, které jsou stejnoměrnější než lisované díly. To je způsobeno rovnoměrným tlakem na všech plochách kompaktního.³

Izostatické lisování za studena používaly přenos tlaku kapalným médiem proti gumovému nebo plastovému sáčku obsahujícímu prášek. Samozřejmostí je malá kontrola rozměrů, takže poslední část musí být opracována před nebo po vypálení. Izostatické lisování za tepla (HEPíng) se obecně používá pro výrobu hustých částí pro kritické aplikace, jako jsou záznamové hlavy nebo mikrovlnné ferity. Další výhodou izostatického lisování za tepla je dosažení jemnozrnných hustých částí. Namísto použití kovového plechu jako kontejneru pro kovový prášek HIP, je alternativním postupem pro ferity obvyklé lisování a slinování tělesa takovým způsobem, aby se na feritu vytvořil utěsněný nebo "kalený" povrch. Ferit samotný tak poskytuje případ a kompaktní je pak izostaticky lisován za tepla. Oudemans (1968) v laboratořích společnosti Philips v Eindhovenu vyvinul systém pro kontinuální lisování feritů za tepla. Ito (2005) použil slinování s nízkou teplotou (HIPíng) pro syntézu feritů *NiZn* a *MnZn*. Prášek vyrobený mokřím zpracováním byl zahříván na 800 °C během jedné hodiny a HIPován při této teplotě po dobu 1 hodiny pod 200 MPa. Podobně byla

získána hustota 99%, ale magnetické vlastnosti byly degradovány. HIPing $NiZn$ a žihání při teplotě $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ poskytly vynikající magnetické vlastnosti. ³

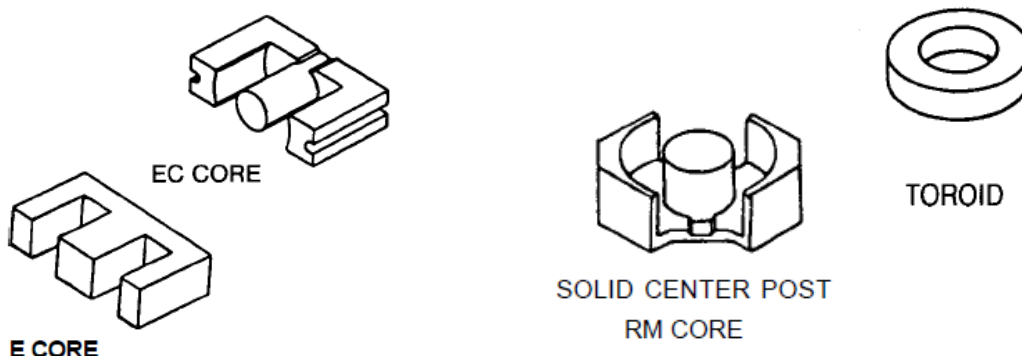
Na druhé straně, při slinování feritů $MnZn$ s práškem vyrobeným mokrou metodou byla získána vysoká hustota, ale tvořily se $FcaO$. Byl tedy použit prášek vyrobený běžným způsobem. Prášek byl sintrován při teplotě $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu 1 hodiny při 200 MPa. Po žihání při $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu 24 hodin. Relativní hustota byla 98%. Magnetické vlastnosti feritů $NiZn$ a $MnZn$ jsou srovnatelné s vlastnostmi, které vznikají při konvenčním vysokoteplotním slinování. Vzhledem k tomu, že tyto materiály mají být používány při výrobě vícevrstvého induktoru třísek, je nezbytné nízkoteplotní slinování, protože bod tání stříbra použitého pro vodič je pouze $960\text{ }^{\circ}\text{C}$. ³

1.2.3 Geometrie, tvar jádra

Stejně jako u feritových materiálů, tam, kde jsou specifické aplikace se také vyžadují materiály vyvinuté pro tuto aplikaci, geometrie jádra může být přizpůsobena specifickým magnetickým a mechanickým požadavkům. Laditelný induktor s vysokou hodnotou Q diktuje jiný tvar jádra než ten, který se používá ve výstupních transformátorech televizní linky. Mohou mít na deformace zásadní vliv. ⁵

Pokud je tvar jádra složitý, bude složité i lisování, a tím i složité rozložení hustoty po vy lisování. Rozdílná hustota v jádru způsobí při slinování rozdílné pnutí a tím i deformaci tvaru.

- Nesymetrický tvar v ose X nebo Y
- Dutiny, díry rozdílné tloušťky plášťů



Obrázek 8 – příklady různých tvarů jader⁵

1.2.3 Slinování (sintrace)

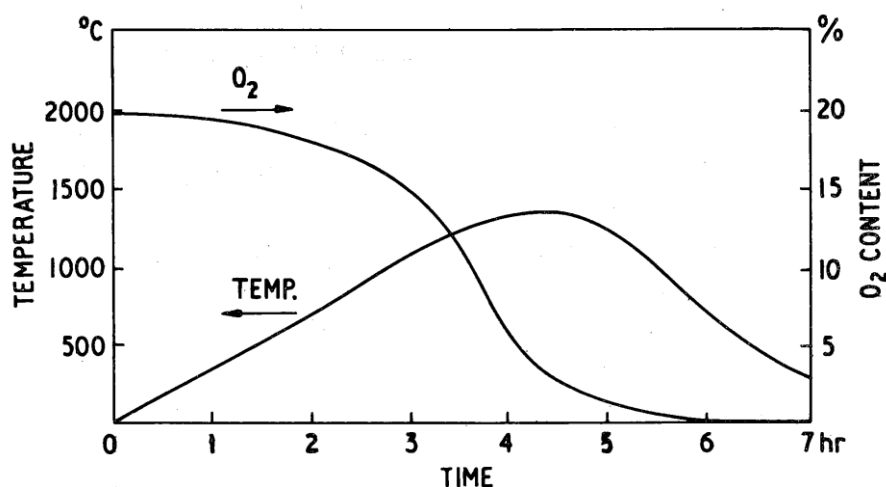
V zhutněné formě částečně zreagované částice přitlačují proti sobě přes část svého povrchu, přičemž zbývající povrch tvoří hranice mezilehlých dutin nebo pórů. Při teplotách v oblasti 1000 °C a vyšších, je volný povrch obsahující dutiny klesá, částice rostou společně a tvoří krystality a hustota stoupá. Během tohoto procesu se lineární rozměry kusové části smršťují v rozmezí od 10% do 25% v závislosti na práškové a lisovací technice a to musí být umožněno při konstrukčním tvarování. Růst zrn a eliminace nebo perzistence pórů mají hluboký vliv na vlastnosti slinutých feritů. 28, 29 Typické velikosti krystalitů se pohybují v rozmezí od asi 5 do 40 mikronů. ²

Vlastnosti jsou samozřejmě také ovlivněny změnami, ke kterým dochází v krystalové mřížce. Tyto změny jsou ovlivňovány nejen teplotou, ale také atmosférou, ve které dochází ke slinování, zejména parciálním tlakem kyslíku v atmosféře. ²

Smíchaný ferit v kvartérním systému, jako je *Mn-Zn-Fe-O*, může existovat v široké škále kompozic v rámci omezení struktury spinelu. I když je podíl těchto tří kovů fixován během přípravy prášku, valenční stavy a fáze závisí na množství kyslíku ve struktuře a to bude záviset na rovnováze kyslíku mezi strukturou a okolní atmosférou. Pokud je například parciální tlak kyslíku v atmosféře velmi malý, jakékoliv přebytečné železo v kompozici by bylo přítomno ve formě železitých iontů a zaujalo by své místo s dalšími dvojmocnými ionty, například s ionty Mn a Zn. Malý podíl železnatých iontů spolu s ionty manganu má tendenci zvyšovat permeabilitu a snižovat ztráty, ale koexistence trojmocných a divalentních iontů stejného prvku snižuje elektrický odpor. Na druhé straně by nadměrný kyslík v atmosféře zabránil tvorbě železného železa. To by vedlo k vyšším magnetickým ztrátám a vyššímu odporu, což by způsobilo tvorbu kationtových volných míst, protože poměr iontů kyslíku (aniontů) k iontům kovů (kationtům) by byl nadměrný. ²

Chemie a fyzika smíšených feritů zahrnuje velký a komplexní obor a mnoho aspektů zůstává neprozkoumaných. Výše uvedená stručná exkurze do této oblasti má ilustrovat, že řízení atmosféry má přímý vliv na složení slinutého feritu, a tedy na jeho vlastnosti. Regulace je komplikovaná, protože rovnovážný parciální tlak kyslíku se mění s teplotou a při jakékoliv teplotě nemusí být optimální pro železo optimální pro ostatní kovy, např. mangan. V praxi musí být kompromis nalezen empiricky. Dalším problémem je, že rovnoměrná rovnováha

nemusí být dosažitelná, protože slinování pokračuje a pórovitost snižuje vnitřní oblasti materiálu, které jsou méně náchylné k atmosféře pece a výsledkům nehomogenity.²

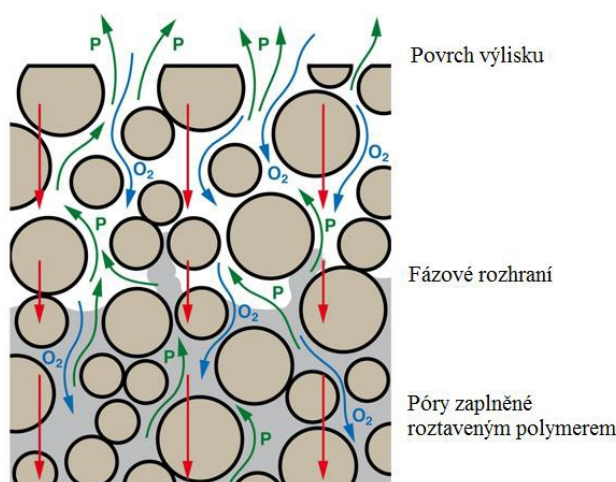


Obrázek 9 – typický slinovací cyklus²

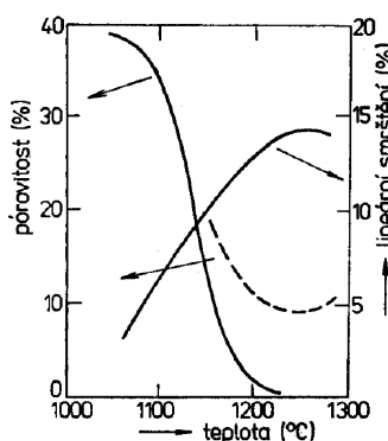
Nejdůležitějším krokem při výrobě feritových jader je jejich výpal, přesněji slinování. Teplota výpalu se pohybuje v rozmezí od 1000 do 1400 °C. Může probíhat ve 2 typech pecí: komorové a kontinuální. Před výpalem v komorových pecích je třeba vylisované meziprodukty zbavit organických pojiv procesem zvaným odplynění. To probíhá v předkomorových pecích, s nižší teplotou než v komorových, aby nedošlo k popraskání výrobku. V kontinuálních tunelových pecích, které jsou dlouhé v řádech desítek metrů, není třeba meziprodukt odplyňovat předem, neboť je pec délkou rozdělena na tři pásma s rozdílnou teplotou. První pásmo je přehřívací, zde dochází k odplynění. Následuje pásmo žárové, které je nejkratší a teplota zde dosahuje maxima. A nakonec je pásmo chladicí, které je nejdelší.²

V průběhu odplynění a samotného výpalu dojde ke smrštění produktu okolo 15%. Křivky závislosti pórovitosti a smrštění produktu je možno vidět na obr. 11. S rostoucí teplotou výpalu dochází ke zmenšování objemu až do maxima, nad nímž nastává mírná expanze spojená s vylučováním plynů vzniklých například redukcí oxidu železitého jakožto hlavní složky feritové keramiky.³

Při výpalu keramického materiálu v oxidační atmosféře může transport tepla probíhat třemi způsoby: otevřenou pórovitostí mezi zrna, přes rozhraní a přes póry vyplněné polymerem. Všechny tyto způsoby jsou znázorněny na obr. 10, který také znázorňuje transportní procesy tepla a zúčastněných látek.⁴



Obrázek 10 – Transportní procesy v průběhu odstraňování pojiva: červené šipky - transport tepla, zelené šipky - difuze produktů rozkladu pojiva, modré šipky - difuze kyslíku



Obrázek 11 – závislost pórovitosti respektive smrštění výrobku na teplotě výpalu ⁷

1.2.4 Dokončení

Když slinutý produkt opouští pec, je o 10 až 25% menší v lineárních rozměrech než je lisovaná velikost. Pokud byla hustota lisování a vypalovací cyklus správně řízeny, je normálně možné udržet rozměry slinutého dílu pro lisované díly lepší než + 2% a + 3% u vytlačovaných dílů. Jak je vysvětleno v části o lisování, nerovnoměrná hustota stlačení může vést ke zkreslení během slinování a tam, kde je důležitý geometrický tvar součásti (např. přímost, kruhovitost), může být nezbytné specifikovat geometrické tolerance nebo tvarové měřidla. ²

Pokud jsou uvedené tolerance rozměrů nebo formy menší než ty, které lze snadno dosáhnout samotným slinováním, bude vyžadována určitá forma dokončovacího procesu.

Takový postup obvykle sestává z broušení nebo řezání. Jelikož je slinutý výrobek tvrdý a abrazivní, broušení a řezání podstatně zvýší výrobní náklady. Z tohoto důvodu je obvyklé vyhnout se tam, kde je to možné, odchylkám menším, než jsou tolerance získané slinováním. Nejběžnějším a často nevyhnutelným dokončovacím procesem je broušení povrchů, které jsou nutné pro vytvoření nízkoúdržbových tupých spojů v sestaveném magnetickém obvodu.

2

Co se týče spárovaných povrchů, stupeň dosažitelnosti a plynulosti závisí do značné míry na přijatelných nákladech na provoz. V zásadě lze rozumnou plochu získat použitím normální brusky na povrchu a to se často používá, když se jedná pouze o několik částí. Při sériové výrobě je obvyklé používat plougil brusku. V tomto případě, od sta kusů a více, je magneticky připevněn k velké kruhové desce. To se pomalu otáčí v horizontální rovině. Nad touto deskou a od ní od ní vyjmutá je další kruhová deska nesoucí abrazivní prstenec. Tato deska se rychle otáčí a vertikální vůle mezi spodní deskou a brusnými segmenty se nastaví tak, aby odpovídala požadované výšce části uzemňovacího kusu. Broušení je zaplaveno chladičem, obvykle vodou, a spodní deska je posunuta bočně pod horní deskou, dokud všechny části nejsou rozemlety brusným kotoučem. Obvykle je nutné nejprve brousit zadní plochu díla tak, aby se vytvořila stabilní základna. Takový proces poskytne celkovou zbytkovou vzduchovou mezeru (dvě tupé spoje) odpovídající přibližně 5μ . Pokud je zapotřebí podstatně menší mezera, musí být použity techniky lapování. Protože tyto nejsou snadno přizpůsobitelné hromadné výrobě, náklady na toto zlepšení mohou být vysoké. ²

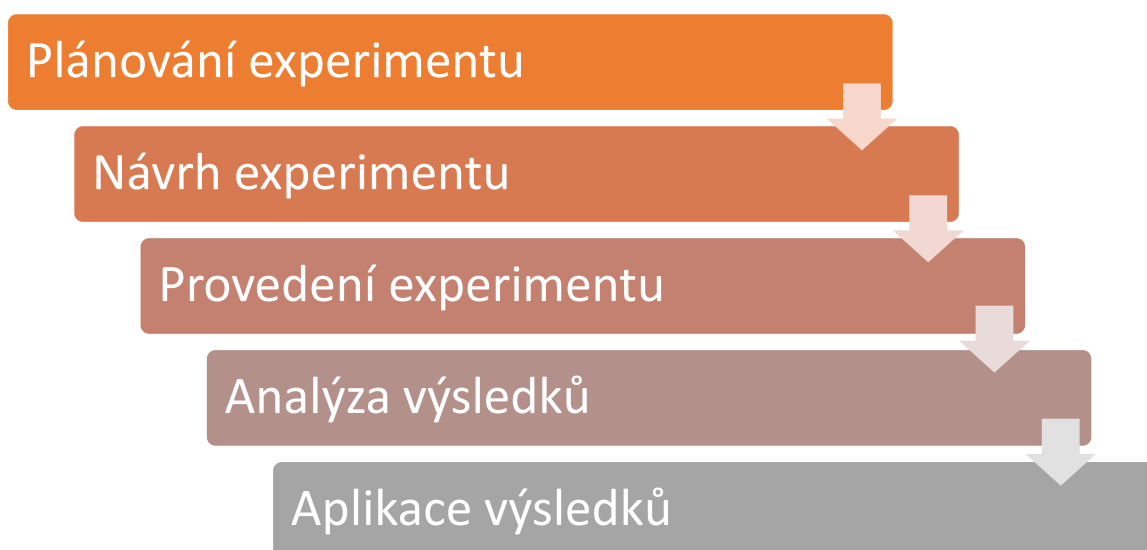
1.2.5 Konečná kontrola

Mechanické rozměry se kontrolují běžnými technikami. Magnetické vlastnosti představují větší problémy. Pro typické feritové jádro je nutné řídit asi sedm magnetických parametrů a některé z nich představují značnou obtížnost měření, např. měření velmi nízkých magnetických ztrát, teplotních koeficientů. Některá měření nelze snadno provést na výrobní lince a obvykle vyžadují specializované zdroje laboratoře kontroly kvality. Ačkoliv taková zařízení, používaná na základě odběru vzorků, poskytují odpovídající kontrolu vyrobeného výrobku, nevyhnutelné časové zpoždění značně ztěžuje efektivní zpětnou vazbu informací o řízení procesu. Tento druhý aspekt inspekce je pravděpodobně důležitější, protože může zajistit, že proces zachová velkou výtěžnost. V praxi je dosaženo dostatečné kontroly a kontroly kombinací on-line a laboratorních zkoušek, doložených nahromaděnými kontrolními záznamy, z nichž mohou být odvozeny kontrolní vztahy. ²

2 Hledání kořenových příčin pomocí nástroje DOE design of experiment

2.1 DOE design of experiment – plánování experimentů

Plánování experimentů je jedním z nejúčinnějších nástrojů předvýrobní etapy. Umožňuje nalézt faktory, které nejvýznamněji ovlivňují výrobní proces i jeho výstupy a stanovit také jejich optimální hodnoty. Lze tedy říci, že plánování experimentů je matematickým prostředkem, který umožní výrobcům kvantifikovat významnost vstupů, které jsou na počátku vytypované jako pravděpodobně vlivné. Dále stanoví, jak vybrané vstupy nastavit, aby proces dosahoval požadovaných výstupů při maximální stabilitě (tedy minimální variabilitě) a odolnosti proti tzv. šumům, tj. nepředvídatelným negativním vlivům na výrobní proces.⁸

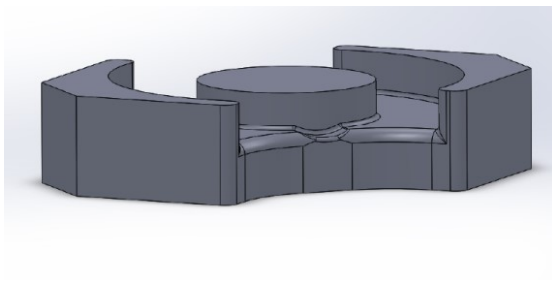


Obrázek 12 – Průběhové schéma návrhu experimentu

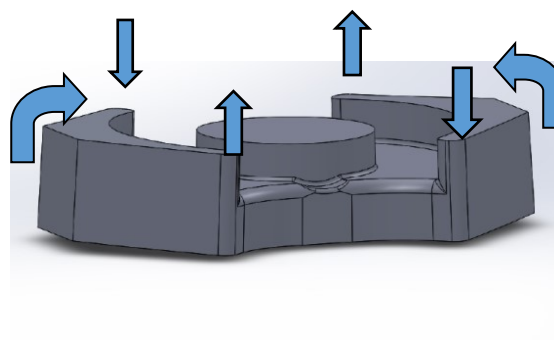
2.1.1 Cíle DOE

- Kvantifikování kvality pomocí vhodného spojitého znaku.
- Nalezení faktoru, který má největší vliv na deformace výrobků.
- Najít závislost faktoru s deformacemi

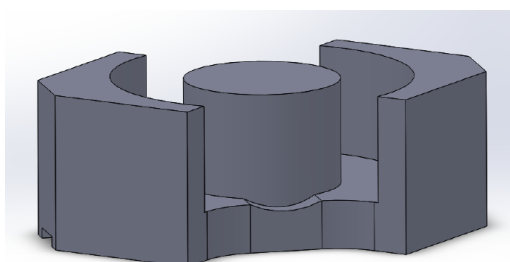
2.3 Výběr problémových jader



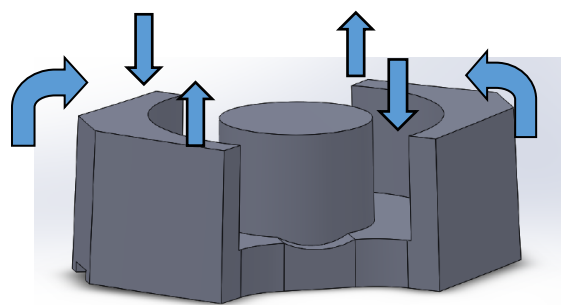
Obrázek 13 – Typ RM8 před výpalem



Obrázek 14 – Typ RM8 po výpalu s deformací



Obrázek 15 – Typ RM14 před výpalem



Obrázek 16 – Typ RM14 po výpalu s deformací

2.4 Popis problému

Po procesu sintrování probíhá kontrola feritových jader. Kromě kontrolního měření specifických rozměrů, se kontroluje také míra deformací pomocí kalibrů a měřidel. Při této kontrole dojde k určení, zdali bude výrobní dávka uvolněna k dalšímu výrobnímu kroku, či bude podrobena další zevrubné kontrole. Dále pak, před samotným broušením, může dojít k selekci do jednotlivých skupin, podle kterých se jádra budou obrábět, nebo budou vyřazeny z výroby. U výše zmiňovaných typů se za posledních 6 měsíců zvýšila míra deformací, že se téměř každý kus blíží k limitům, které jádra vyřazují. Celkové procento zmetkovitosti se zvýšilo. Taková výroba se prodlužuje a zdražuje na středisku obrábění. Dalším rizikem je také možné praskání během broušení.

Tento problém se rozhodl řešit tým techniků na středisku technologie pomocí nástrojů DOE a SixSigma. Odhalit faktory, které mají vliv na deformaci a eliminovat je na co nejmenší možnou míru. Tím že se deformace projeví až po slinování, je nutné jít krok po kroku a zkoumat procesy od slinování k předchozím.

2.5 Sestavení týmu odborníků

Zástupci středisek:

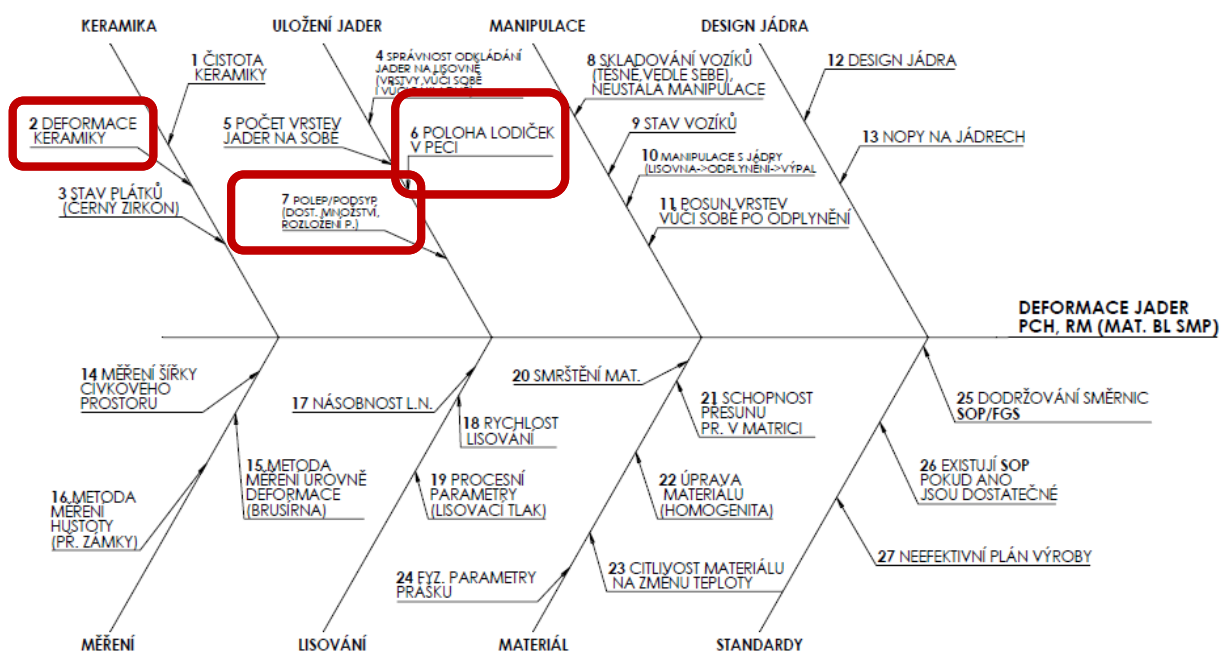
- Technologie
- Lisovny
- Výpalu
- Kontroly a metrologie

Celkem 8 členů týmu.

Každý člen tohoto týmu má praktické i teoretické zkušenosti s výrobou feritových jader.

2.6 Rybí kost - Ishikawa

Pomocí takzvané rybí kosti jsme si v týmu přiřadili veškeré možné potenciální faktory, které by mohli mít významný vliv na deformace.



Obrázek 17 – rybí kost s potenciálními faktory deformací

2.6.1 Bodování faktorů

Každý člen v týmu má k dispozici 6 bodů, může přidělit 1; 2; 3 body.

Výsledky bodování:

- 1) č. 7. Separační materiál zirkon v sypkém nebo tekutém skupenství
- 2) č. 6. Poloha jader v peci
- 3) č. 2 Deformace keramiky (pomocná keramika)

2.7 Návrh testů

Vyloučení nechtěných faktorů, které by mohli ovlivnit výsledky testů.

Granulát – musí být stejné šarže.

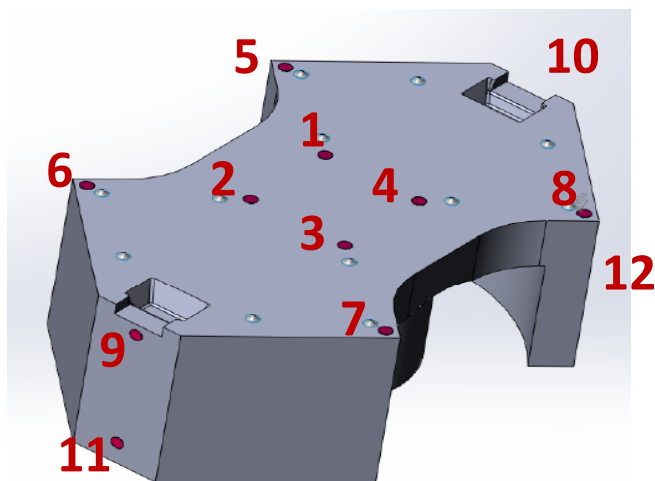
Lisování – jádra probíhá na stejném stroji se stejným lisovacím nástrojem. S co nejpřesnějším možným nastavením. Odkládání výlisků (pomocná keramika, počet kusů na sobě)

Kontrola po lisování – hustota, rozměry výlisků, vizuální vady (odštěpky, tvary)

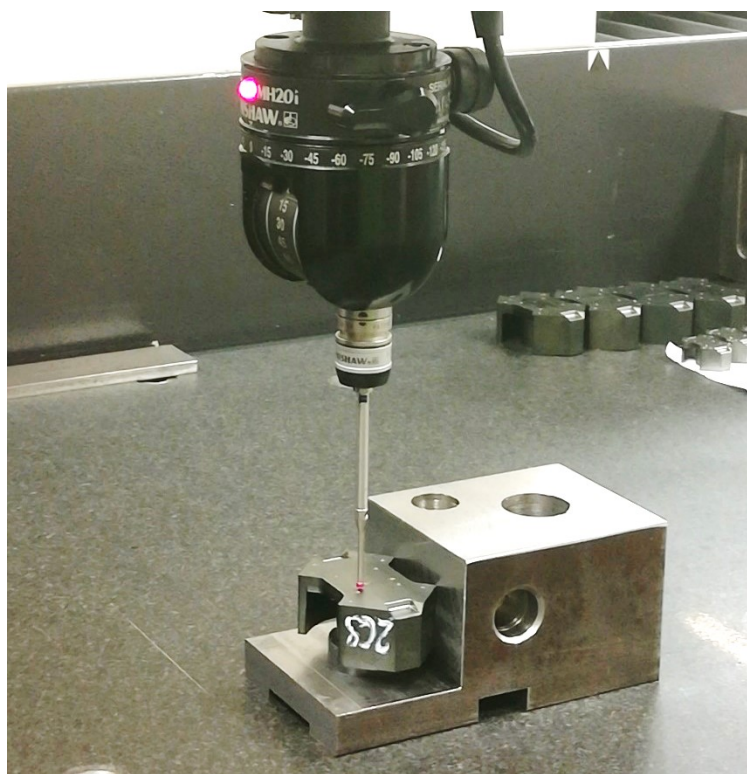
2.8 Měření a kvantifikace testů

Měření deformací je velice složité, už proto že celý výrobek po slinování změnil svůj tvar ve všech třech osách X, Y, Z. Bylo velmi těžké najít část výrobku, který byl nejméně zdeformován. Po dohodě s týmem, byla stanovena referenční plocha na střed dna tvaru čtverce o rozměrech 10 x 10 mm. Návrh způsobu měření a měřené body viz obr. 18, které mají vypovídající hodnotu pro test, byly dohodnuty všemi členy týmu.

Měření jader bylo prováděno pomocí 3D měřicího přístroje Mitutoyo, maximální odchylka garantovaná výrobcem je $\pm 0,003$ mm. Uchycení jádra bylo pomocí broušeného permanentního magnetu za sloupek jádra. Sloupek jádra a plocha na jeho protější straně vykazoval nejmenší míru deformace v tisícinách milimetru.



Obrázek 18 – měřené body RM 14

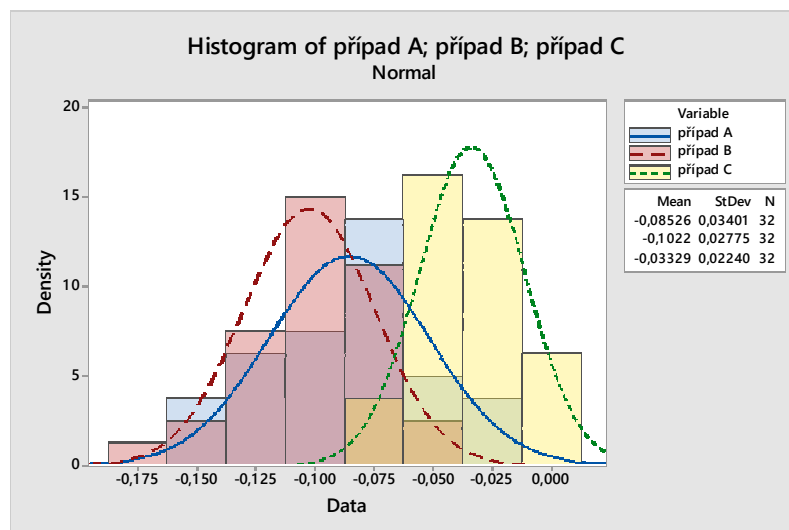


Obrázek 19 – měření jádra přístrojem Mitutoyo

2.9 Vyhodnocení testů

Pomocí programu Minitab. Minitab je statistický program který vyhodnocuje naměřená data, porovnává, vyobrazuje grafy. Pomáhá nám lépe pochopit získaná data.

2.9.1 Histogram (srovnání vybraných hodnot)



Obrázek 20 – příklad vyhodnocení souborů pomocí histogramu

Histogram je klasickým grafem, v němž na jednu osu vynášíme varianty proměnné a na druhou osu jejich četnosti. Jednotlivé hodnoty četností jsou pak zobrazeny jako výšky sloupců (obdélníku, popř. hranolu, kuželu...).

Kde:

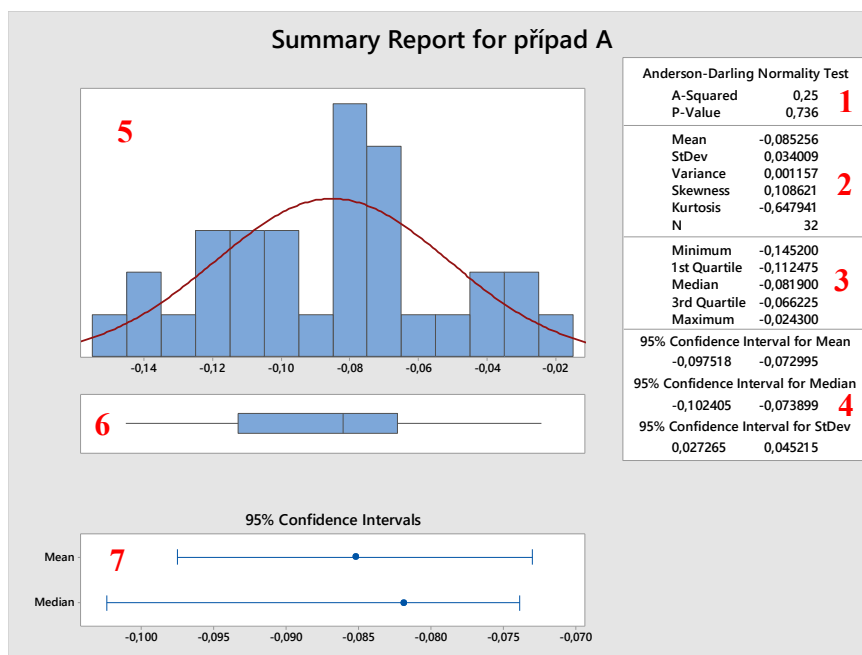
- N je počet sledovaných hodnot
- Mean – průměr hodnot x

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

- StDev – směrodatná odchylka

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

2.9.2 Histogram, grafický souhrn



Obrázek 21 – příklad vyhodnocení souboru pomocí grafického souhrnu

Kde:

1. Normality test – test normality naměřených dat. Je-li p-hodnota menší než 0,05, pak zamítáme hypotézu, že data mají normální rozdělení. ⁹
2. Aritmetický průměr, medián, rozptyl, koeficient šikmosti, koeficient špičatosti, počet měření. ¹²

Výběrový rozptyl s^2 (čti „s kvadrát“, angl. sample variance) je nejrozšířenější mírou variability výběrového souboru. Určujeme jej podle vztahu. ¹⁰

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Medián x0,5 = 50%tní kvantil (rozděluje datový soubor tak, že polovina (50%) hodnot je menších než medián a polovina (50%) hodnot větších (nebo rovných)). ¹⁰

3. Minimální hodnota souboru, první kvartil a maximální hodnota. ¹²

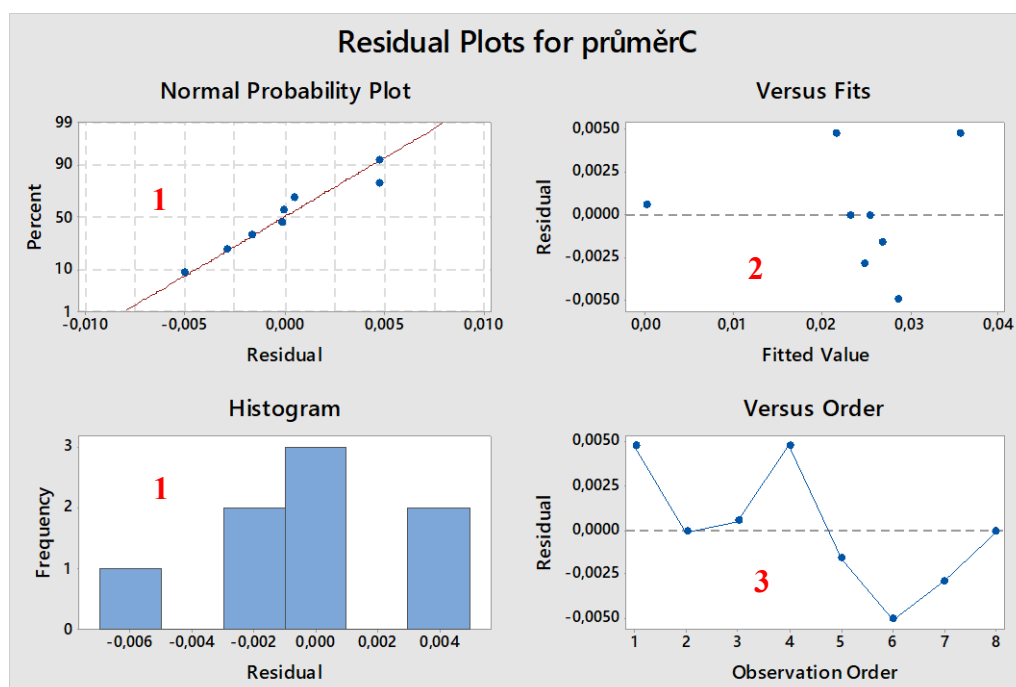
Dolní kvartil x0,25 = 25%tní kvantil (rozděluje datový soubor tak, že 25% hodnot je menších než tento kvartil a zbytek, tj. 75% větších (nebo rovných)). ¹⁰

Horní kvartil $x_{0,75}$ = 75%tní kvantil (rozděluje datový soubor tak, že 75% hodnot je menších než tento kvartil a zbytek, tj. 25% větších (nebo rovných)).¹⁰

Kvartily dělí výběrový soubor na 4 přibližně stejné četné části.¹⁰

4. Intervaly spolehlivosti pro průměr, medián a směrodatnou odchylku.¹²
5. Histogram a pravděpodobnostní funkce normálního rozdělení.¹²
6. Krabicový graf naměřených hodnot.¹²
7. Grafické znázornění intervalů spolehlivosti pro průměr a medián.¹²

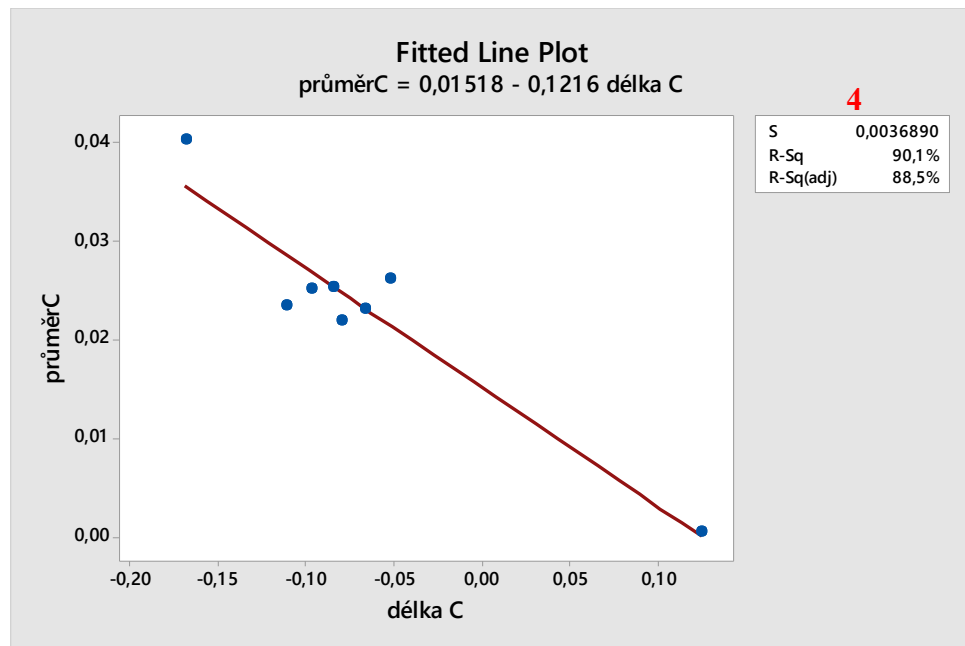
2.9.3 Lineární regrese



Obrázek 22 – grafické znázornění souboru pomocí regresní analýzy

Kde:

1. Normální rozdělení ověřujeme pomocí dvou grafů. Jsou-li body na červené křivce a kopíruje-li histogram Gaussovu křivku, je předpoklad splněn.¹²
2. Graf ukazuje závislost reziduí na odpovídajících hodnotách vypočtených z modelu. Hodnoty by měly být náhodně rozmístěny, bez známek změny rozptylu.¹²
3. V časové řadě reziduí bychom neměly pozorovat trendy, posuny hodnot či změnu rozptylu.¹²



Obrázek 23 – grafické znázornění rezidentury

Kde:

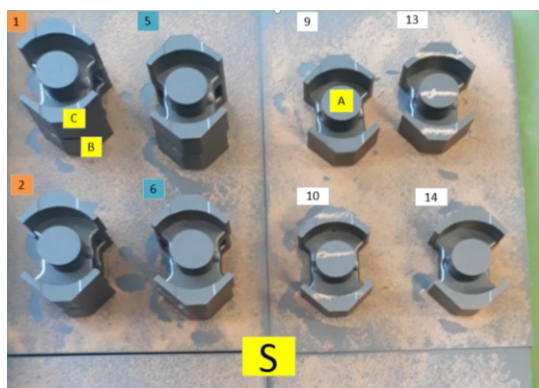
4. R-sq popisuje koeficient determinace. Pokud bychom chtěli porovnat více modelů s různým počtem členů, orientovali bychom se podle velikosti upraveného koeficientu determinace R-sq (adj).

3 Testy

3.1 Test č. 1 - výpal jader typ RM14 s broušenou podložkou na zirkonu sypaném a tekutém.

Faktory:

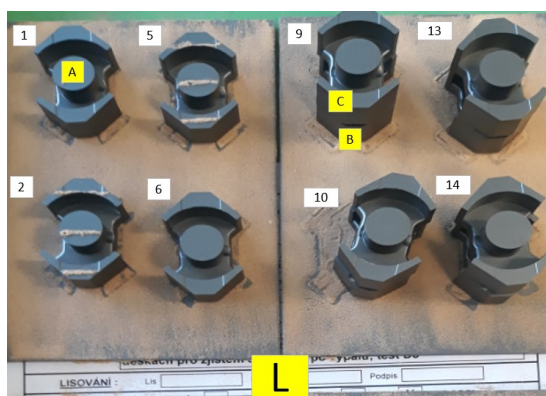
1. polep *L*
2. podsypaný *S*
3. jedna vrstva
4. dvě vrstvy



Obrázek 24 – uložení jader v lodičce na broušené podložce podsypaný

Schéma uložení jader s podsypem

1BS 1CS	5BS 5CS	9AS	13AS
2BS 2CS	6BS 6CS	10AS	14AS
3BS 3CS	7BS 7CS	11AS	15AS
4BS 4CS	8BS 8CS	12AS	16AS

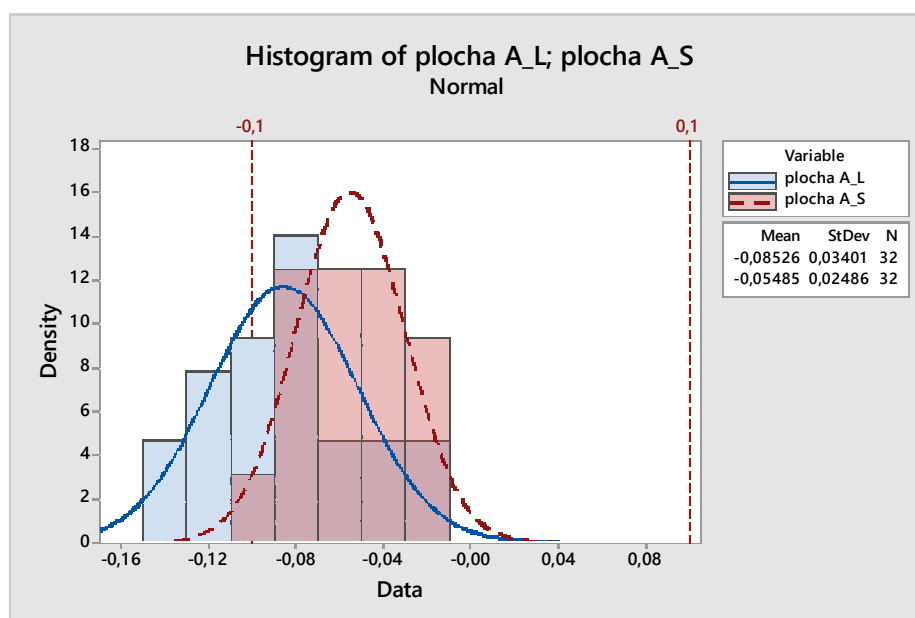


Obrázek 25 – uložení jader v lodičce na broušené podložce polep

Schéma uložení jader s polepem

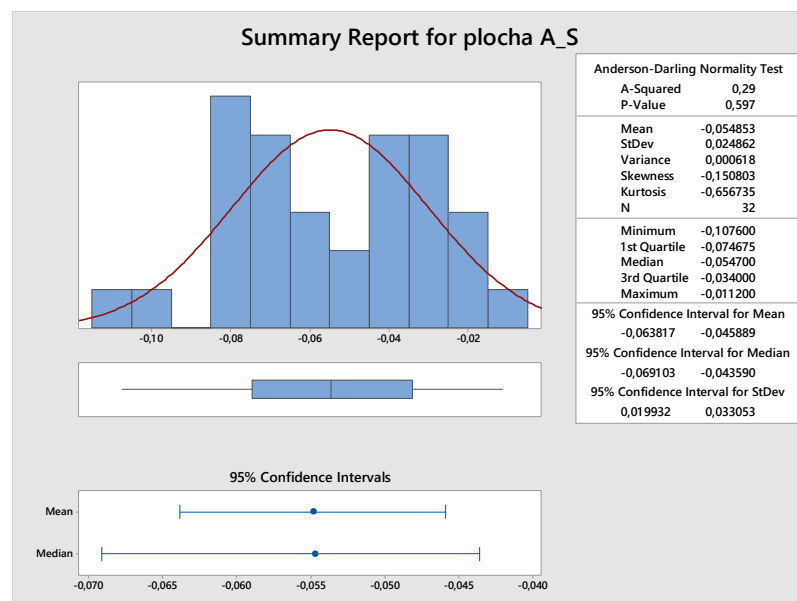
1AL	5AL	9BL 9CL	13BL 13CL
2AL	6AL	10BL 10CL	14BL 14CL
3AL	7AL	11BL 11CL	15BL 15CL
4AL	8AL	12BL 12CL	16BL 16CL

3.1.1 Histogram (srovnání)

Obrázek 26 – srovnání dat A_L a A_S pomocí histogramu

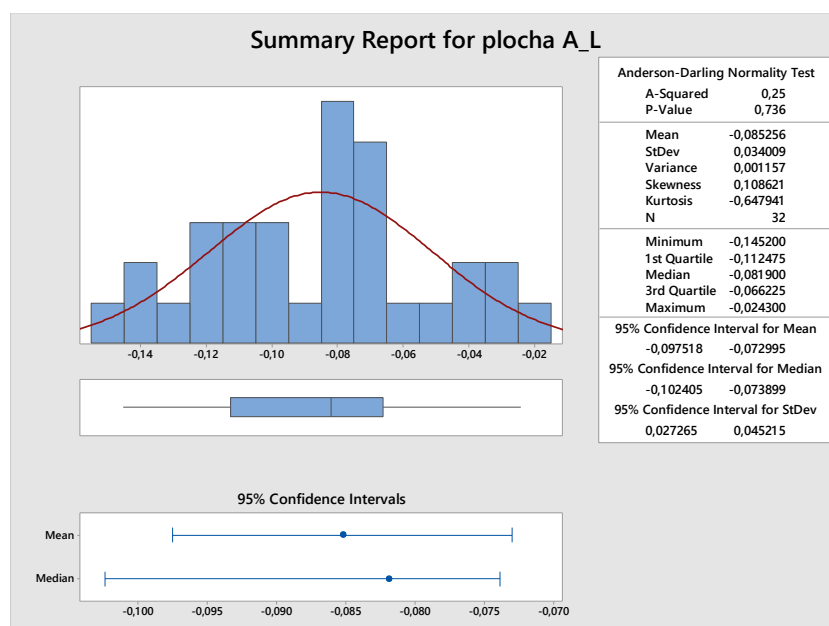
- 1 Průměr deformace plochy při užití sypaného zirkonu je 0,05485 mm, což je mnohem lepší než u použití tekutého zirkonu, kde je průměr 0,08526 mm. U obou testů jsme však překročili nastavené tolerance.
- 2 Směrodatná odchylka v případě podsypu 0,02486 průměrná vzdálenost mezi jednotlivými údaji a jejich aritmetickým průměrem.
- 3 U obou testů jsme však překročili nastavené tolerance.

3.1.2 Grafický souhrn



Obrázek 27 – srovnání dat A_S pomocí histogramu (grafický souhrn)

- 1 V případě podsypu je P-value vyšší než 0,05 hypotézu normality nezamítáme.
- 2 V 95 % confidence intervals vidíme, že spolehlivost pro průměr a medián jsou stejně rozložené, což je dobré z hlediska variace naměřených hodnot.
- 3 U krabicového grafu si můžeme porovnat hodnoty, je znázorněno rozdělení na obou stranách podobné, což je dobré.



Obrázek 28 – srovnání dat A_L pomocí histogramu (grafický souhrn)

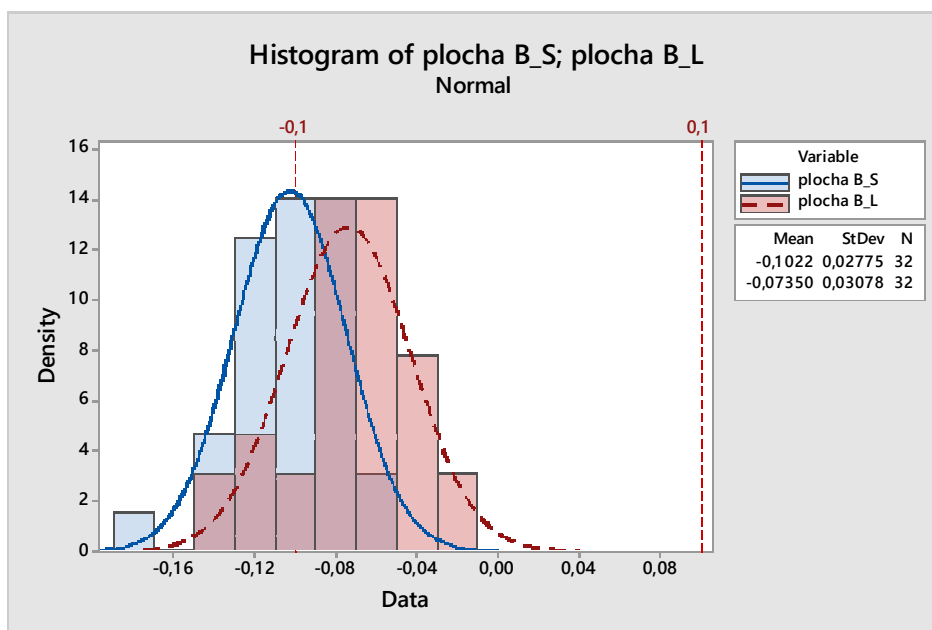
- 1 V případě polepu je P-value vyšší než 0,05 hypotézu normality nezamítáme.
- 2 V 95 % confidence intervals vidíme, že spolehlivost pro průměr a medián nejsou stejně rozložené, což nám dává velký rozptyl. Z hlediska procesní spolehlivosti tyto údaje nejsou pro nás příznivé.
- 3 U krabicového grafu si můžeme porovnat hodnoty, je vidět posun počtu hodnot do leva, což nám rozšiřuje Gaussovu křivku.

3.2 Test č. 2 - výpal jader typ RM14 s broušenou podložkou na zirkonu sypaném a tekutém dvě vrstvy, horní a dolní.

Faktory:

1. polep L
2. podsypan S
3. jedna vrstva
4. dvě vrstvy

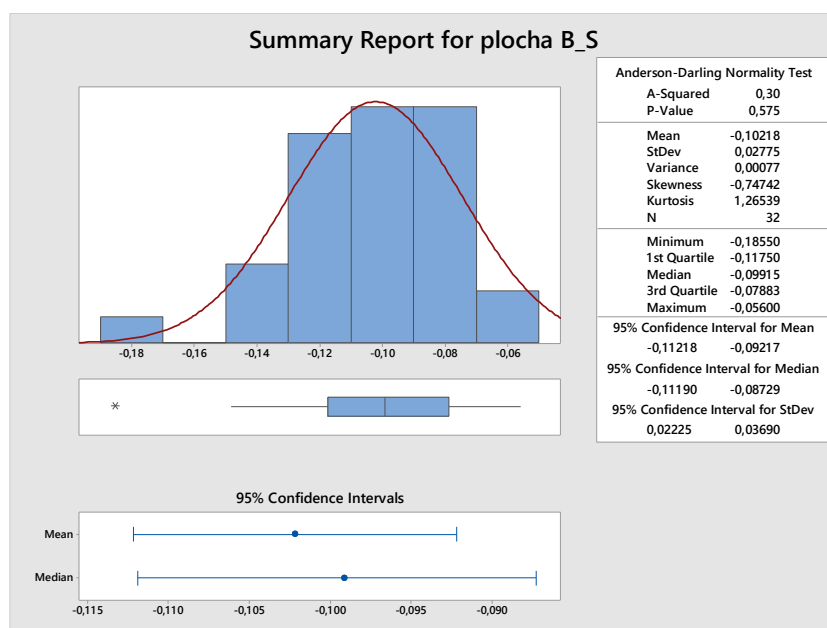
3.2.1 Histogram (srovnání)



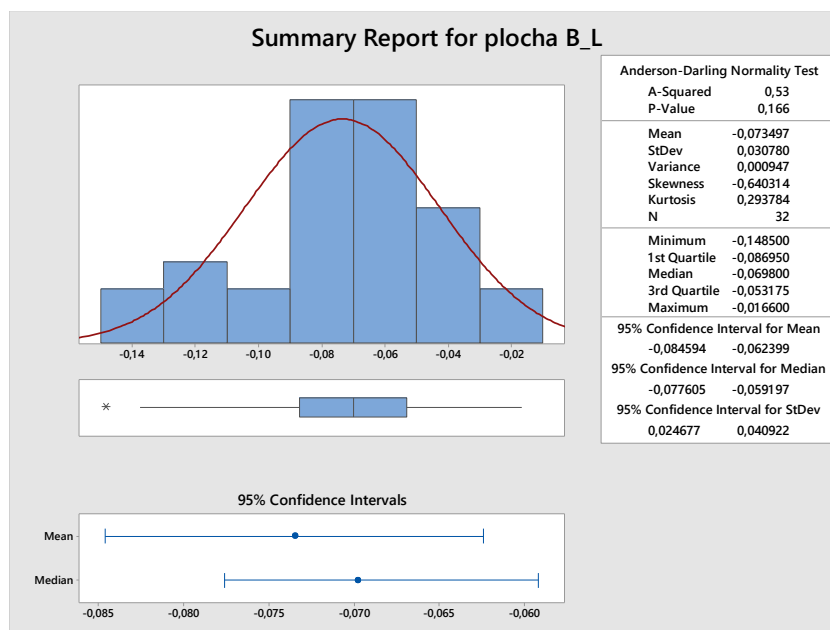
Obrázek 29 – srovnání dat B_S a B_L pomocí histogramu

- 1 Průměr deformace plochy při užití sypaného zirkonu je 0,1022 mm, což je horší než u použití tekutého zirkonu, kde je průměr 0,0735 mm. U obou testů jsme však překročili nastavené tolerance. Gaussova křivka má podobné zakřivení, tudíž rozdíl naměřených hodnot není velký.
- 2 Směrodatná odchylka v případě podsypu a polepu je velmi podobná. To může být způsobeno zatížením vrchní vrstvou jader.
- 3 U obou testů jsme však překročili nastavené tolerance.

3.2.2 Grafický souhrn



Obrázek 30 – vyhodnocení dat B_S pomocí histogramu

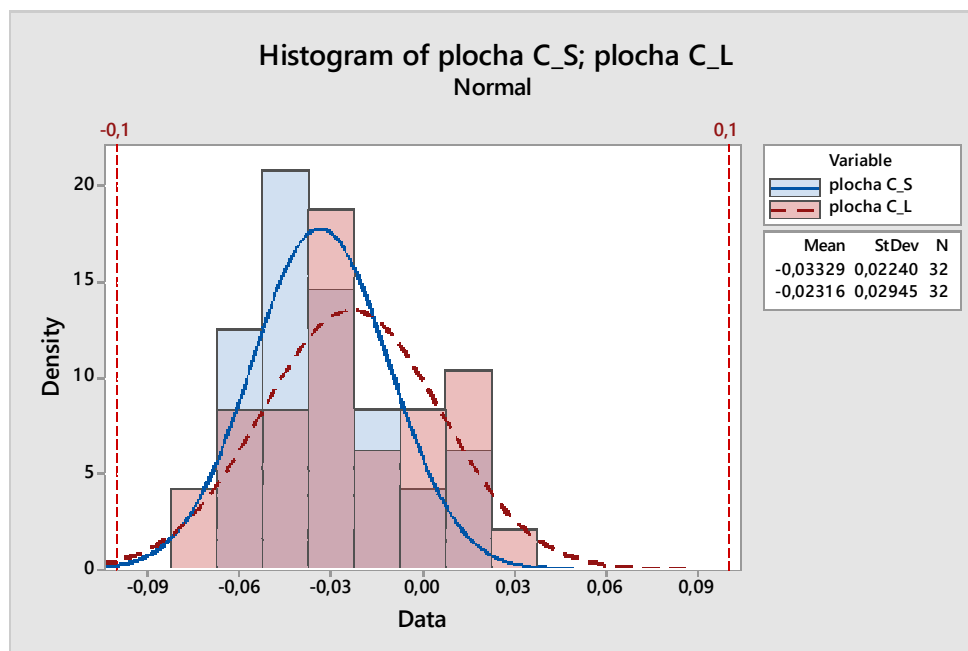


Obrázek 31 – vyhodnocení dat B_L pomocí histogramu

- 1 V případě B_S a B_L je P-value vyšší než 0,05, hypotézu normality nezamítáme.
- 2 V 95 % confidence intervals vidíme, že spolehlivost pro průměr a medián u obou případů nejsou stejně rozložené, což nám dává velký rozptyl. Z hlediska procesní spolehlivosti tyto údaje nejsou pro nás příznivé.
- 3 U krabicového grafu vidíme v případě B_S posun do pravé strany, zatím co u B_L je rozložení téměř souměrné.

4 U obou případů jsme překročily toleranční pole.

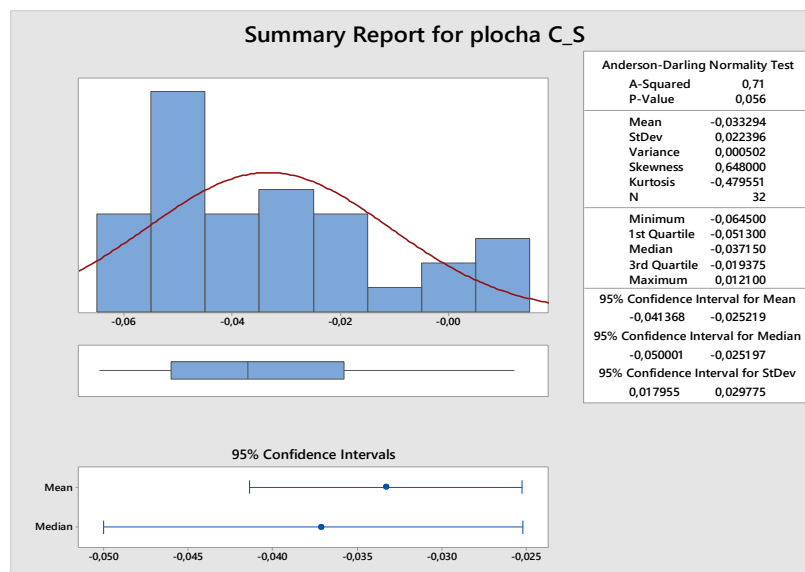
3.2.3 Histogram (srovnání)



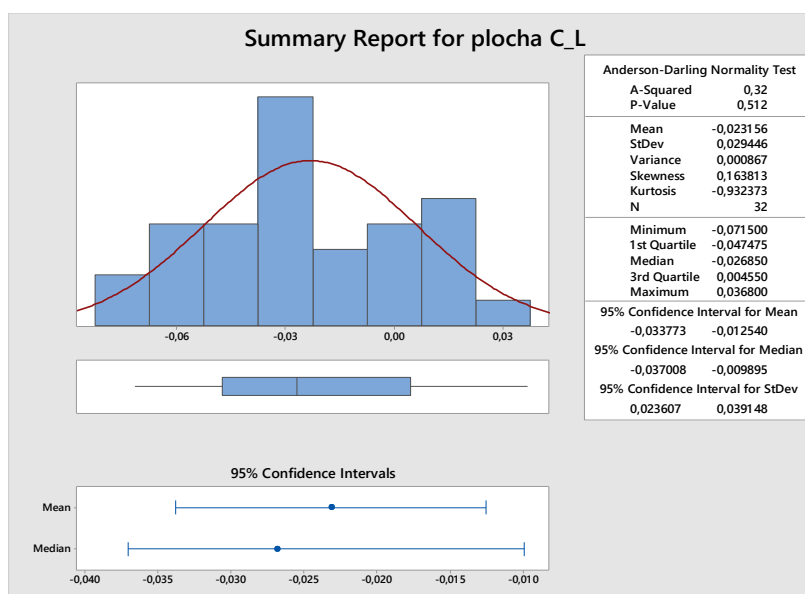
Obrázek 32 – srovnání dat C_S a C_L pomocí histogramu

- 1 Průměr deformace plochy vrchních jader při užití sypaného zirkonu je 0,03329 mm, lepší je u použití tekutého zirkonu, kde je průměr 0,02316 mm.
- 2 Směrodatná odchylka v případě podsypu a polepu je velmi podobná. To může být způsobeno zatížením vrchní vrstvou jader.
- 3 U obou testů jsme nepřekročili nastavené tolerance. Zřejmě je způsobeno tím, že styčná plocha vrchní jader je mnohem menší než u jader ve spodní vrstvě. Tyto výsledky jsou pro nás pozitivní z hlediska nepřekročených tolerancí.

3.2.4 Grafický souhrn



Obrázek 33 – srovnání dat C_S pomocí histogramu (grafický souhrn)



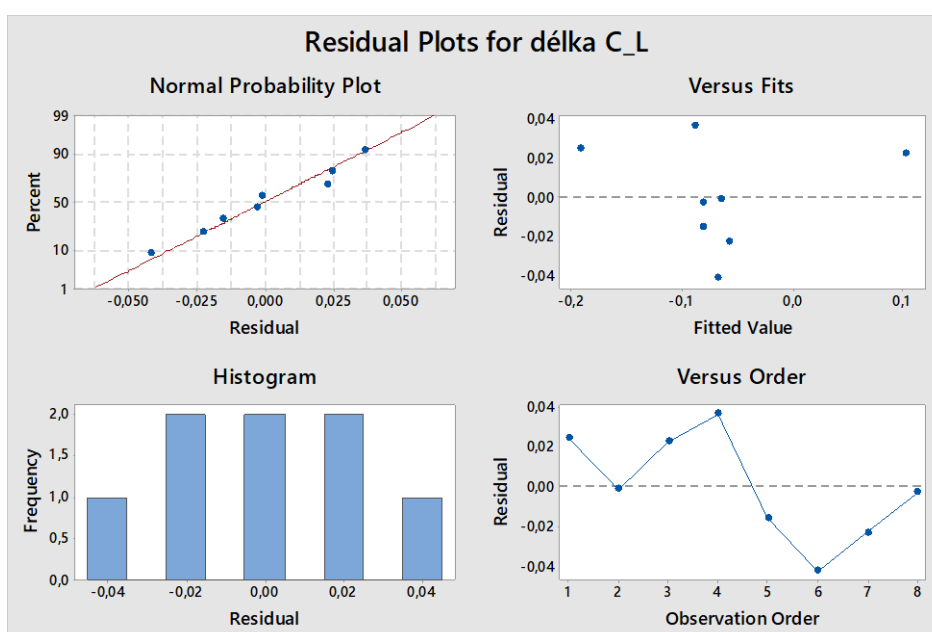
Obrázek 34 – srovnání dat C_L pomocí histogramu (grafický souhrn)

- 1 V případě C_S a C_L je P-value vyšší než 0,05 hypotézu normality nezamítáme. Ale v obou případech se nám hodnoty blíží 0,05.
- 2 U průměrných hodnot jsou hodnoty od 0,03 do 0,02, tyto hodnoty jsou pro nás velmi příznivé. Tyto příznivé hodnoty opět přisuzují faktu, že jsou jádra oddělena od spodní podložky a tudíž mají menší styčnou plochu.

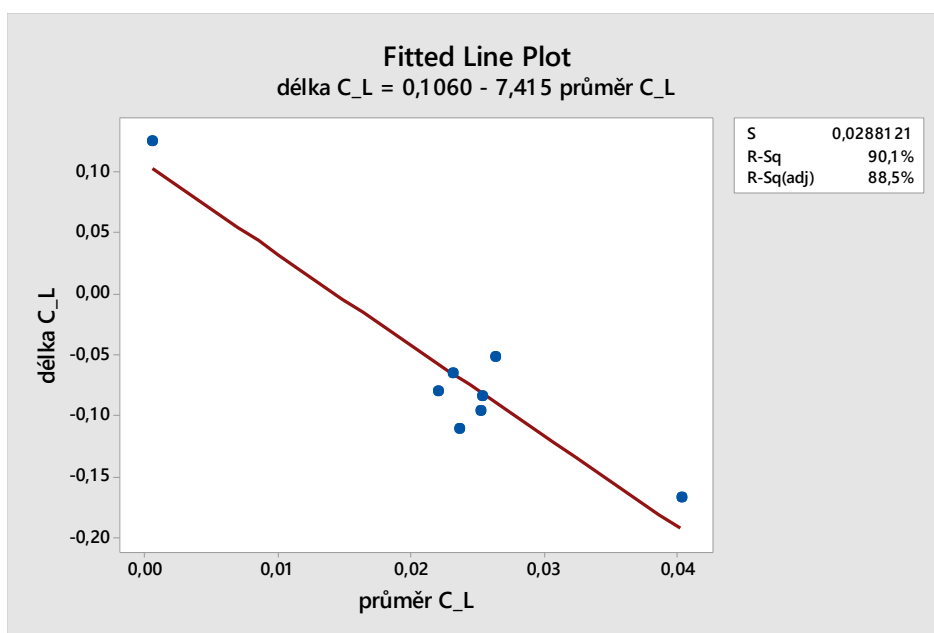
- 3 V 95 % confidence intervals vidíme, že spolehlivost pro průměr a medián nejsou stejně rozložené, což nám dává velký rozptyl. Z hlediska procesní spolehlivosti tyto údaje nejsou pro nás příznivé.
- 4 U krabicového grafu si můžeme porovnat hodnoty, je vidět posun počtu hodnot do leva, což nám rozšiřuje Gaussovu křivku, zvláště pak u případu C_S.

3.2.5 Lineární regrese

V případě testů deformace plochy a deformace délky u vzorků C_S a C_L můžeme hovořit o lineární regresi, z grafů je vidět že závislost deformace plochy a deformace délky je zřejmá. U předchozích vzorků se regrese nepotvrdila.



Obrázek 35 – grafické znázornění souboru C_L pomocí regresní analýzy



Obrázek 36 – grafické znázornění rezidentury souboru délka C_L a průměr C_L

1. Jsou-li body na červené křivce a kopíruje-li histogram Gaussovu křivku, je předpoklad splněn.
2. R-Sq je 90,1 % závislosti osy Y na ose X

3.3 Test č. 3 – poloha jader RM8 v peci, horní poloha a spodní poloha. Lodička s jednou vrstvou jader a se dvěma vrstvami jader. Umístění jádra na kraji, na středu lodičky.

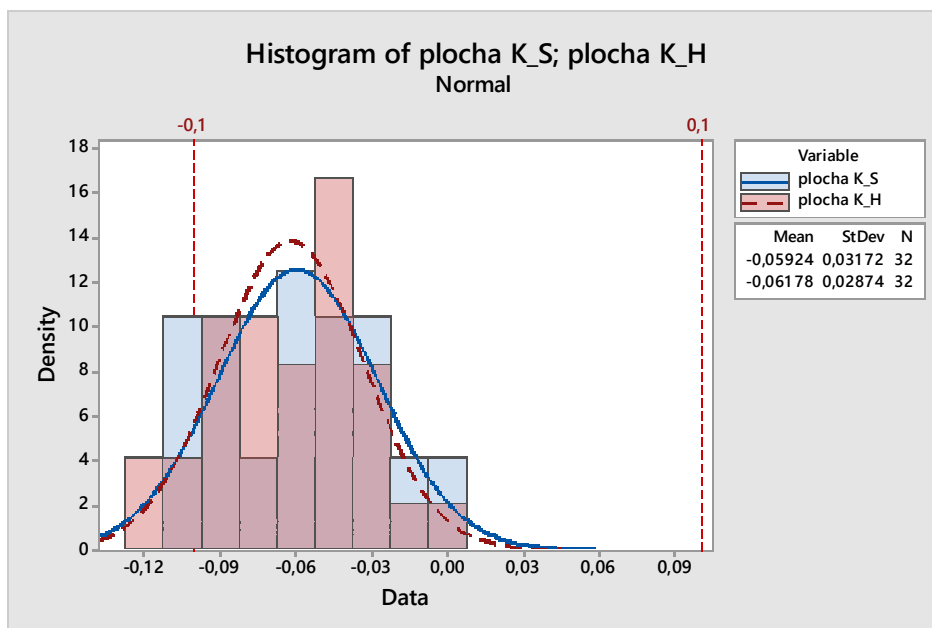
Faktory:

1. poloha horní
2. poloha dolní
3. kraj lodičky
4. střed lodičky

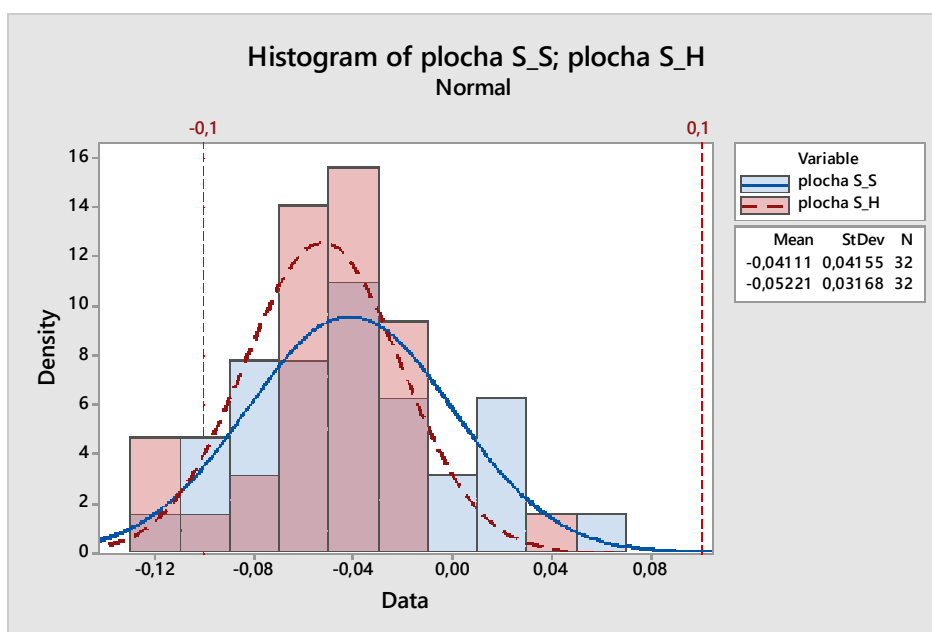


Obrázek 37 – uložení lodiček v peci, spodní a horní poloha

3.3.1 Histogram (srovnání)



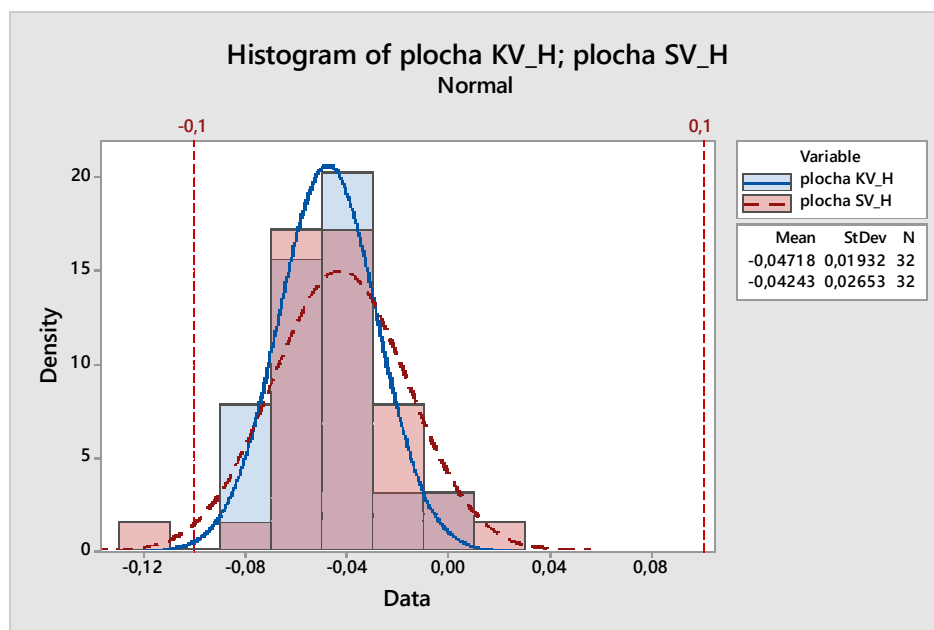
Obrázek 38 – vyhodnocení plochy K_S a plochy K_H pomocí histogramu



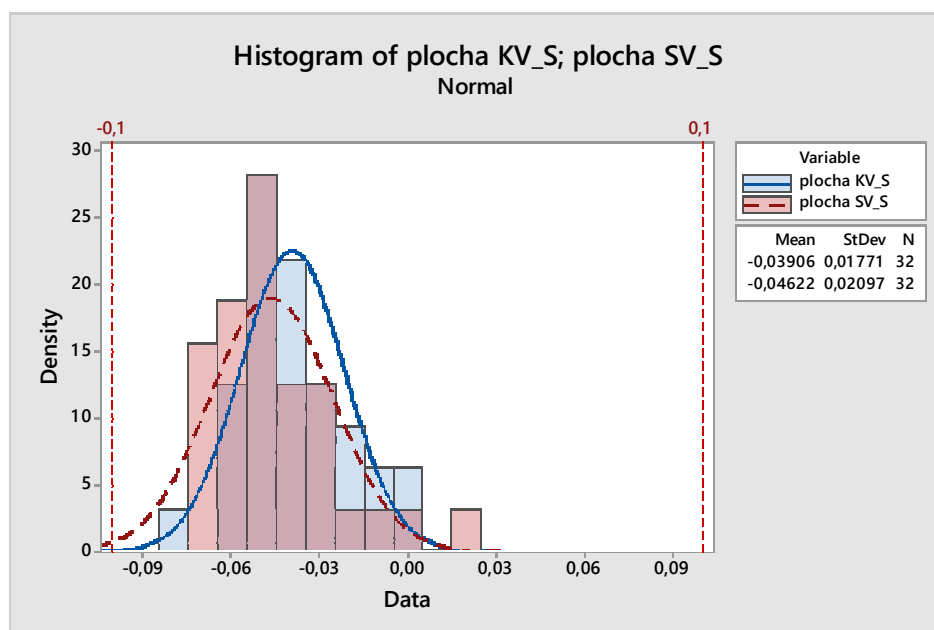
Obrázek 39 – vyhodnocení plochy S_S a plochy S_H pomocí histogramu

- 1 Průměr deformace plochy jader na kraji lodičky v poloze pece spodní je 0,05924 mm, a v poloze horní je průměr 0,06178 mm. Tyto výsledky jsou pro nás přijatelné.
- 2 Směrodatná odchylka v obou případech dosahuje také přijatelných výsledků.

- 3 U obou testů jsme překročili stanovené limity. Ve všech případech vidíme, že se výsledky překrývají, z toho plyne, že uložení lodičky v peci nemá zásadní vliv na deformaci.



Obrázek 40 – vyhodnocení plochy KV_H a plochy SV_H pomocí histogramu



Obrázek 41 – vyhodnocení plochy KV_S a plochy SV_S pomocí histogramu

- 1 Průměr deformace plochy vrchních jader je velmi malý. Tyto výsledky jsou pro nás dobrou zprávou.
- 2 Směrodatná odchylka ve všech případech je velmi nízká.
- 3 U obou testů jsme nepřekročili nastavené tolerance. Můžeme začít s tvrzením, že jádra, která jsou oddělena od spodní plochy, mají nejmenší deformaci.

4 Návrh opatření k eliminaci deformací

Z výše uvedených výsledků vyplývá že eliminovat deformaci při sintrovacím procesu můžeme podložením spodních vrstev jader, tak aby byla styková plocha co nejmenší. Toto tvrzení je potřeba potvrdit dalšími testy, které budou předmětem SixSigma projektů, který byl zahájen paralelně s touto bakalářskou prací.

Na druhém místě bych zařadil myšlenku použití větší separační vrstvy zirkonu v tekutém stavu. Opět by správnost myšlenky musela být potvrzena dalšími testy.

Na posledním místě bych zařadil myšlenku, zabývat se takzvanými nopy. Zdali plní v každé pozici jádra svou funkci.

5 Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo eliminovat deformace, které vznikají při sintračním procesu. Analyzovat jednotlivé procesy, které by mohly mít vliv na deformace, které se projeví po výpalu.

Teoretická část se zabývá teorií, popisem procesu výroby feritových jader. V každém kroku výroby se autoři zabývají problematikou smrštění a deformací materiálu, výrobku. Popisuje závislosti a vztahy fyzikálních procesů, které vznikají při výrobě produktu.

Praktická část této práce se zabývá analýzou a návrhem vybraných faktorů, které se mohou týkat deformace při sintračním procesu. V teoretické části se autoři nezabývají vlivem praktické části výroby, jako jsou podmínky výroby, přesuny materiálů, uskladnění, odkládání výlisků, vlivem deformace pomocné keramiky, ukládání výrobků do lodiček na výslednou deformaci. Avšak část výše zmiňovaných faktorů, jak jsem mohl mít možnost přesvědčit se, mají vliv na deformace. Výběr faktorů byl vypracován pomocí DOE nástroje. Navrhnuté testy probíhaly dle přesně stanovených podmínek, tak aby nedošlo ke zkreslení výsledných hodnot při vyhodnocování. Vybrané faktory a jich se týkající testy, nebyly ukončeny, v této práci byly zmíněny jen testy dokončené. Provést všechny testy a následně je ověřit, tak aby byl účinek potvrzen, či vyvrácen, potřebuje mnohem více času, než je vyměřeno v této bakalářské práci. Kolegové pokračují v testování a ověřování.

Ekonomický přínos nemůže být v této práci vyčíslen, jelikož nejsou v tuto chvíli konkrétní výpočty úspor v následných procesech, jako je broušení, dokončení. Nicméně na základě dosažených výsledků můžu říct, že je možno do určité míry eliminovat deformace feritových jader.

Poděkování

Děkuji tímto prof. Ing. Jiřímu Hrubému, CSc. za jeho cenné rady a odbornou pomoc při vypracovávání této bakalářské práce. Také děkuji vedoucí oddělení Procesní techniky Ing. Martině Šimečkové a jejímu týmu, za jejich ochotu, pomoc a praktické rady. Společnosti TDK Electronic s r.o. za poskytnutí nezbytných údajů potřebných pro vypracovávání bakalářské práce.

5 Seznam použité literatury

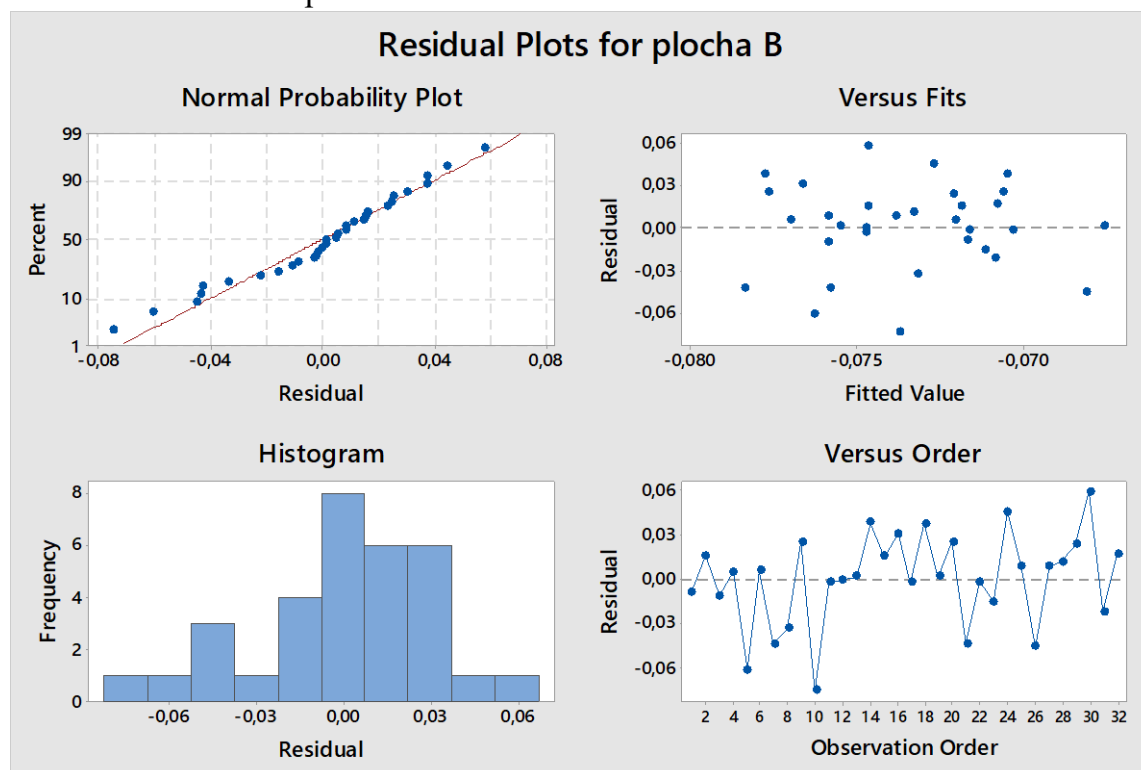
- [1] TDK Electronics AG 2018[online]. [cit. 18.04.2019]. Dostupné z:
<https://www.pracevtdk.cz/>
- [2] SNELLING, E. C. *Soft ferrites: properties and applications*. 1969. London: Iliffe, 1969. ISBN 9780408027601.
- [3] GOLDMAN, Alex. *Modern ferrite technology*. 2nd ed. New York, NY: Springer, 2005. ISBN 0387294139.
- [4] SKOTNICOVÁ, Kateřina a Miroslav KURSA. *Prášková metalurgie: studijní opora*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3596-9.
- [5] MMPA. *Soft Ferrite* [online]. 1989. Chicago, Illinois, USA: Hill publishing Co, 1989, 1989 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z:
<http://www.magneticsgroup.com/pdf/mmpa%20SFG-98.pdf>
- [6] SALEHI, M., CLEMENS, F., GRAULE, T., GROBÉTY, B.: *Kinetic analysis of the polymer burnout in ceramic thermoplastic processing of the YSZ thin electrolyte structures using model free method*. Applied Energy. 2012, roč. 95, s. 147-155. ISSN 03062619.
- [7] HERAINOVÁ, Marcela. *Sušení a výpal*. 2., upr. vyd. Praha: Silikátový svaz, 2008. Učebnice pro střední odborné školy (Silikátový svaz). ISBN 978-80-86821-47-4.
- [8] TOŠENOVSKÝ, Josef. *Plánování experimentů*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2592-2.
- [9] SC&C Partner. *Mintab 17 Příručka pro uživatele*. Praha: SC&C Partner, spol. s r.o. 2015, 2015.
- [10] LITSCHMANNOVÁ, Martina. *Úvod do statistiky* [online]. Ostrava, 2011 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z:
<http://mi21.vsb.cz/modul/uvod-do-statistiky>. Skripta. VŠB – TU Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky.

6 Seznam obrázků

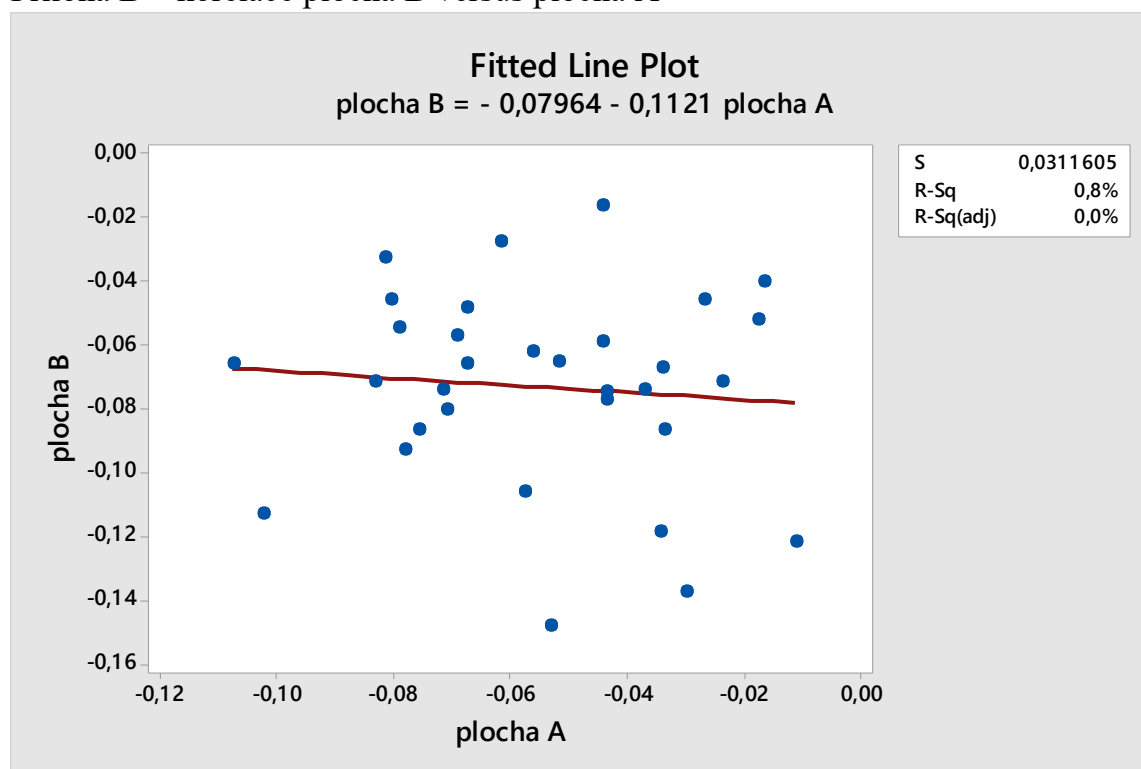
Obrázek 1 – feritová jádra před výpalem ¹	11
Obrázek 2 – Piezo senzor ¹	11
Obrázek 3 – krystalická (kubická) mřížka ²	13
Obrázek 4 – průběhové schéma výroby feritových jader	14
Obrázek 5 – elektronová mikroskopie vzorku feritového granulátu. ³	17
Obrázek 6 – způsoby lisování v matricích: a) jednosměrné lisování; b) obousměrné lisování; c) lisování s plovoucí matricí. ⁴	18
Obrázek 7 – Pochody, probíhající ve výlisku s rostoucím tlakem. ⁴	18
Obrázek 8 – příklady různých tvarů jader ⁵	20
Obrázek 9 – typický slinovací cyklus ²	22
Obrázek 10 – Transportní procesy v průběhu odstraňování pojiva: červené šipky - transport tepla, zelené šipky - difuze produktů rozkladu pojiva, modré šipky - difuze kyslíku ⁶	23
Obrázek 11 – závislost pórovitosti respektive smrštění výrobku na teplotě výpalu ⁷	23
Obrázek 12 – Průběhové schéma návrhu experimentu	25
Obrázek 13 – Typ RM8 před výpalem Obrázek 14 – Typ RM8 po výpalu s deformací	26
Obrázek 15 – Typ RM14 před výpalem Obrázek 16 – Typ RM14 po výpalu s deformací	26
Obrázek 17 – rybí kost s potenciálními faktory deformací	27
Obrázek 18 – měřené body RM 14	29
Obrázek 19 – měření jádra přístrojem Mitutoyo	29
Obrázek 20 – příklad vyhodnocení souborů pomocí histogramu	30
Obrázek 21 – příklad vyhodnocení souboru pomocí grafického souhrnu	31
Obrázek 22 – grafické znázornění souboru pomocí regresní analýzy	32
Obrázek 23 – grafické znázornění rezidentury	33
Obrázek 24 – uložení jader v lodičce na broušené podložce podsyp	34
Obrázek 25 – uložení jader v lodičce na broušené podložce polep	35
Obrázek 26 – srovnání dat A_L a A_S pomocí histogramu	35
Obrázek 27 – srovnání dat A_S pomocí histogramu (grafický souhrn)	36
Obrázek 28 – srovnání dat A_L pomocí histogramu (grafický souhrn)	36
Obrázek 29 – srovnání dat B_S a B_L pomocí histogramu	38
Obrázek 30 – vyhodnocení dat B_S pomocí histogramu	39
Obrázek 31 – vyhodnocení dat B_L pomocí histogramu	39
Obrázek 32 – srovnání dat C_S a C_L pomocí histogramu	40
Obrázek 33 – srovnání dat C_S pomocí histogramu (grafický souhrn)	41
Obrázek 34 – srovnání dat C_L pomocí histogramu (grafický souhrn)	41
Obrázek 35 – grafické znázornění souboru C_L pomocí regresní analýzy	42
Obrázek 36 – grafické znázornění rezidentury souboru délka C_L a průměr C_L	43
Obrázek 37 – uložení lodiček v peci, spodní a horní poloha	44
Obrázek 38 – vyhodnocení plochy K_S a plochy K_H pomocí histogramu	45
Obrázek 39 – vyhodnocení plochy S_S a plochy S_H pomocí histogramu	45
Obrázek 40 – vyhodnocení plochy KV_H a plochy SV_H pomocí histogramu	46
Obrázek 41 – vyhodnocení plochy KV_S a plochy SV_S pomocí histogramu	46

7 Seznam příloh

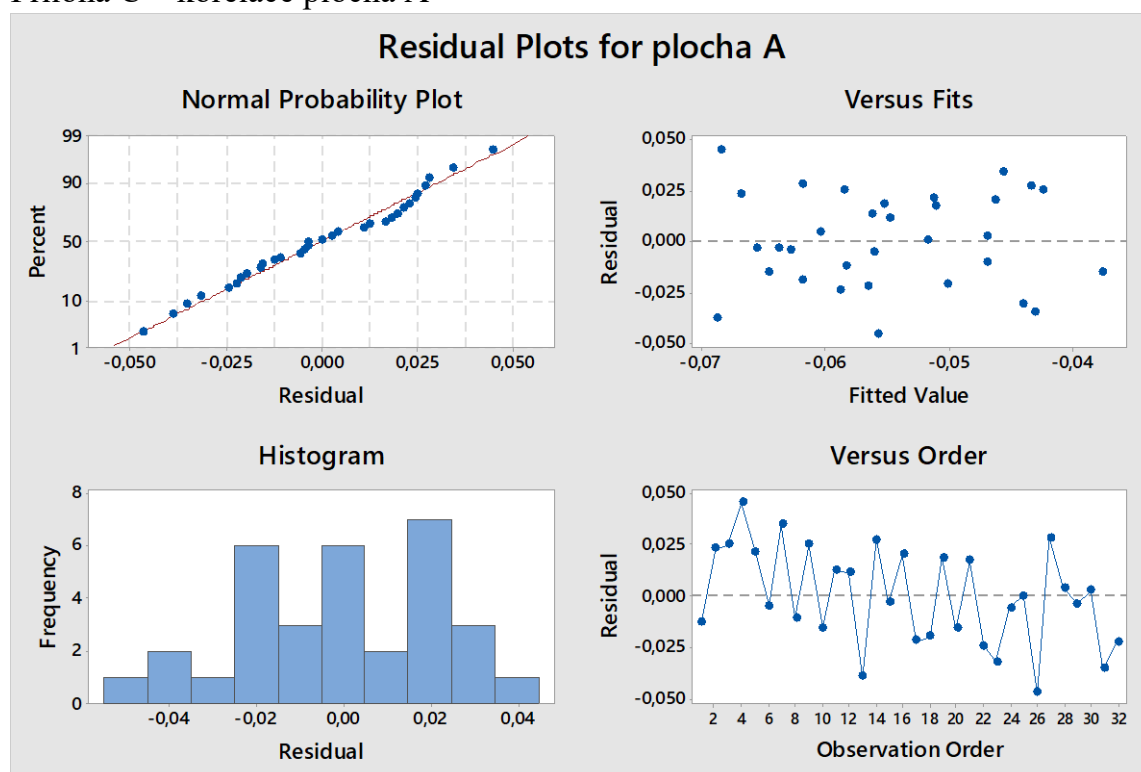
Příloha A – korelace plocha B



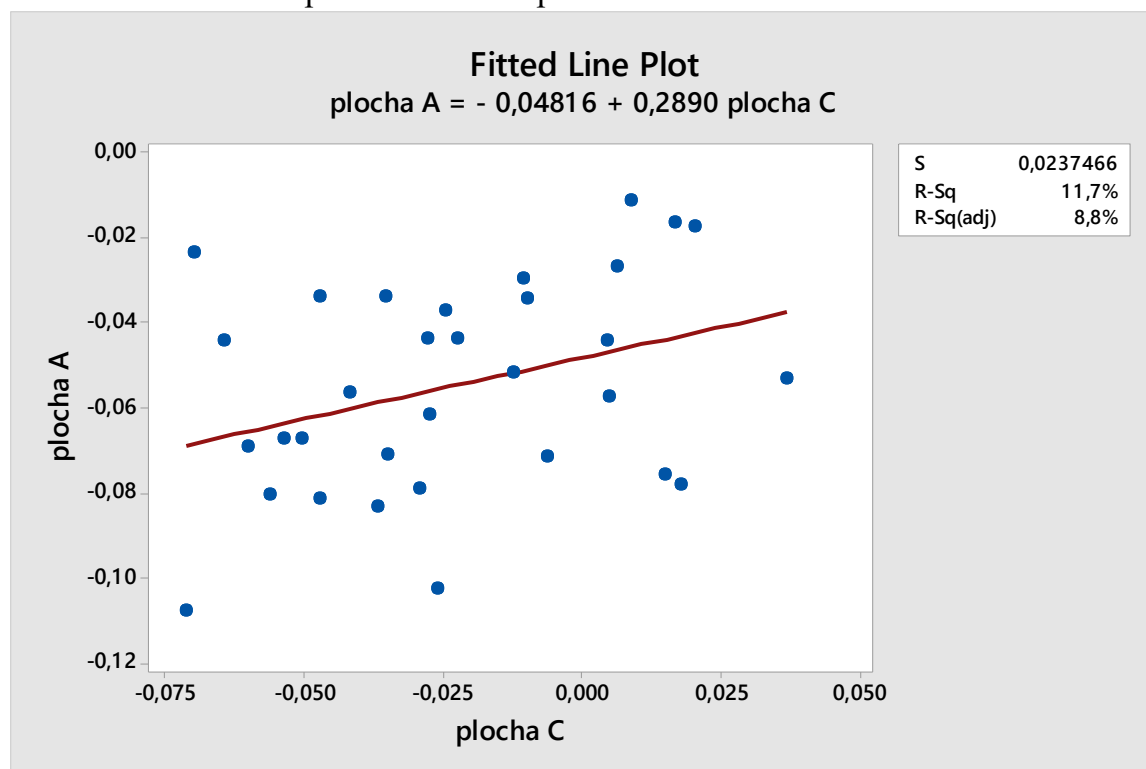
Příloha B – korelace plocha B versus plocha A





Příloha C – korelace plocha A



Příloha D – korelace plocha A versus plocha C



		<h1>Výrobní protokol</h1> <h2>TDN Technical data network</h2> <p>PCM Press Control and Monitoring report</p>	
<p>DACS 30/2</p> <p>Stroj</p>		<p>Datum a čas zadání 21.3.2019 11:39:34</p> <p>Datum a čas tisku 21.3.2019 11:40:52</p>	
<p>Schema</p> 		<p>Číslo dávky: 0T151123</p> <p>Výrobní číslo: 84452335</p> <p>PID číslo: 3308Z-03-2 (M33 SPG)</p>	
<p>Výkres jádra</p> <h1>C61035-A0028-C102</h1> <p>RM8</p>		<p>Číslo dávky: 10T151124</p> <p>Výrobní číslo: 84452335</p> <p>PID číslo: 3308Z-03-2 (M33 SPG)</p>	
<p>Lisovací nástroj</p> <p>Směšovací nástroj</p> <p>Násobnost nástroje</p> <p>Váha pro počet jader:</p>		<p>14 %</p> <p>2</p> <p>1 ks</p>	
<p>94812652</p>		<p>1 ks</p>	
<p>Hustota po výpalu</p> <p>4.7 g/cm3</p>		<p>Zrátový faktor</p> <p>0.957</p>	
<p>Materiál</p> <p>M33 SPG TR</p>		<p>Zadaný objem</p> <p>0 mm3</p>	
<p>Pole ovládací</p> <p>72011645</p> <p>- Komorová pec pod atmosférou</p> <p>- N2/vzduch (odplynění zvlášť)</p> <p>- uložení ve 2 vrstvách</p> <p>- bez feritových desítek</p> <p>- vozík Loopak (16 rovin)</p>		<p>Model hustoty</p> <p>RM jádra - verze 1</p> <p>H3 = (H2-0.08:H2)</p> <p>sloupek</p> <p>H4</p> <p>rozdíli mezi pláští max. 0.05</p> <p>H4 = (H2+H3)/2 ± 0.11)</p> <p>max. stěna - RM5 - RM 8</p>	
<p>Pole výpalu</p> <p>72011645</p> <p>- Komorová pec pod atmosférou</p> <p>- N2/vzduch (odplynění zvlášť)</p> <p>- uložení ve 2 vrstvách</p> <p>- bez feritových desítek</p> <p>- vozík Loopak (16 rovin)</p>		<p>Model hustoty</p> <p>RM jádra - verze 1</p> <p>H3 = (H2-0.08:H2)</p> <p>sloupek</p> <p>H4</p> <p>rozdíli mezi pláští max. 0.05</p> <p>H4 = (H2+H3)/2 ± 0.11)</p> <p>max. stěna - RM5 - RM 8</p>	
<p>Poznámka</p> <p>Experimenty A3 report: deformace jader (BP) - poloha jádra v peci (střed / kraj lodicky) vzhledem k citlivosti mat. k.f.: -0.05; hust.: 3.04 - 3.10 g/cm3 (14% LN) !! 12.3.19 Hanák</p>		<p>max. stěna - RM5 - RM 8</p>	
<p>LISOVNÝ</p> <p>NA</p> <p>NA</p>		<p>NA</p> <p>NA</p>	

Příloha F – protokol měření



Číslo protokolu (1)

Jméno uživatele
Ladislav Šebesta
24.04.2019 10:02

Jméno dílu
TDK RM14-Kern

1	2	3	4				
El. No.	Line No	Element	Pkt. Ref.	X-Coord. Nominal	Y-Coord. Y-Angle Up/Lo	Z-Coord. Z-Angle Actual	Diam/Size Dist./Ang. Dev./Error mm
Zadej číslo kusu! Kus c.: 1BL							
Sejmi bod v pozici "1"							
1	4	Punkt Gauss	1	240.7730	87.4655	57.2933	0.0000
Sejmi bod v pozici "2"							
2	8	Bod Gauss	1	233.0885	87.4805	57.2978	0.0000
Sejmi bod v pozici "3"							
3	12	Bod Gauss	1	233.0900	77.0995	57.3543	0.0000
Sejmi bod v pozici "4"							
4	16	Bod Gauss	1	241.1510	77.1030	57.3528	0.0000
Vytvorena referencni rovina - vyrovnani, vloženi 0							
1	20	Rovina Gauss	4	0.0220	0.3240	57.8736	0.0017
				89:58:42	89:40:45	0:19:18	
rovinnost referencni roviny							
1	23	Rovina			0.0050	0.0017	0.0017
		Rovinnost					***---
			4P	S/MIN/MAX	0.00162	(1)-0.0008	(2)0.0008
Sejmi bod v pozici "5"							
5	25	Bod Gauss	1	247.4744	94.5156	-0.0460	0.0000
Sejmi bod v pozici "6"							
6	29	Bod Gauss	1	226.6454	94.5128	-0.0744	0.0000
Sejmi bod v pozici "7"							
7	33	Bod Gauss	1	226.6473	70.3235	-0.0868	0.0000
Sejmi bod v pozici "8"							
8	37	Bod Gauss	1	247.4403	70.3222	-0.0279	0.0000
Vytvorena rovina z bodu 5+6+7+8							
2	41	Rovina Gauss	4	0.0011	-0.0001	-0.5464	0.0153
				89:52:47	90:00:24	179:52:47	
Rovinnost vytvorene roviny							
2	43	Rovina			0.0050	0.0153	0.0153
		Rovinnost					--->>
			4P	S/MIN/MAX	0.01527	(1)-0.0076	(2)0.0076
Sejmi bod v pozici "9"							
9	45	Bod Gauss	1	257.8322	82.2923	-4.5665	0.0000
Sejmi bod v pozici "10"							
10	49	Bod Gauss	1	216.2635	82.5450	-4.2436	0.0000
Vzdálenost bod 9-10							
1	53	VzdálenostBezkompenzace		41.5688	-0.2527	0.0000	41.5695

GEOPAK Opakovací režim SMS v2.4.R5 Edition 5 in MCOSMOS-1